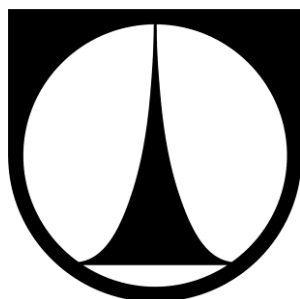


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**PROVOZNÍ PODMÍNKY AUTOMOBILOVÉHO MOTORU
PŘI VYSOKÉ HUSTOTĚ PROVOZU**

OPERATING CONDITIONS OF AUTOMOBILE ENGINE IN
HEAVY TRAFFIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

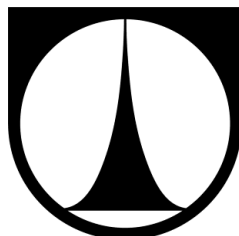
Jakub Mimra

Květen 2013

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor 2302R022

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**PROVOZNÍ PODMÍNKY AUTOMOBILOVÉHO MOTORU
PŘI VYSOKÉ HUSTOTĚ PROVOZU**

**OPERATING CONDITIONS OF AUTOMOBILE ENGINE IN
HEAVY TRAFFIC**

Bakalářská práce

KVM – BP – 293

Jakub Mimra

Vedoucí bakalářské práce: Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Aleš Ditrich, Ing. Martin Mazač

Počet stran: 48

Počet obrázků: 40

Květen 2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Jakub M I M R A**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Obor: **2302R022 Stroje a zařízení**

Zaměření: **Dopravní stroje a zařízení**

Ve smyslu ZÁKONA č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

PROVOZNÍ PODMÍNKY AUTOMOBILOVÉHO MOTORU PŘI VYSOKÉ HUSTOTĚ PROVOZU

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

Cílem práce je experimentálně vyšetřit a popsat provozní podmínky automobilového motoru při jízdě automobilu v koloně během velmi vysoké hustoty a malé plynulosti provozu, a porovnat je s podmínkami při jízdě v plynulém provozu nebo s evropským jízdním cyklem.

1. Proveďte rešerši a uvažte, jaké problémy lze očekávat při delším provozu motoru na volnoběh z hlediska kvality spalování, emisí z motoru, účinnosti katalyzátorů a dalších aspektů.
2. Navrhněte zástavbu experimentální aparatury pro měření výfukových emisí alespoň základních plyných látek, měření nebo odečet otáček a zatížení motoru a spotřeby paliva.
3. Ve spolupráci s řešitelským týmem projektu MEDETOX proveďte realizaci navrženého experimentu (instalace přístroje na vybrané vozidlo, obsluha přístroje) a zúčastněte se dvou měření lehkých vozidel za provozu.
4. Vyhodnoťte a prezentujte výsledky (statistické zpracování, diskuze, shrnutí zjištění a závěry vyplývající z výsledků).



Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

1. Beroun, S. Vozidlové motory. TU v Liberci, 2009
2. Matějovský, V.: Automobilová paliva. Grada 2004. ISBN 80-247-0350-5
3. Řídící systémy vznětových motorů. Bosch, 4. vydání. Str. 324-353
4. Vojtíšek, M.: Současné trendy ve výfukových emisích z pístových spalovacích motorů, vliv provozních podmínek a dalších faktorů na emise, metody měření. Ochrana ovzduší 2/2011
5. Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů. ČVUT 1997
6. Technická dokumentace k experimentálnímu zařízení a k experimentálnímu vozidlu (bude upřesněna dle výběru aparatury a vozidla)

Vedoucí bakalářské práce:

Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D. - TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Aleš Ditrich – TU v Liberci, CxI

Ing. Martin Mazač - TU v Liberci, KVM



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

děkan

V Liberci dne 1. 11. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



PROVOZNÍ PODMÍNKY AUTOMOBILOVÉHO MOTORU PŘI VYSOKÉ HUSTOTĚ PROVOZU

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou provozních podmínek automobilu v hustém provozu. Pozornost je věnována hlavně množství emisí produkováných spalovacím motorem při jízdě v dopravní zácpě. Dále práce pojednává o zástavbě experimentální aparatury pro provedená měření. Rozsáhlá část je věnována snižování výfukových emisí. Důraz je kladen i na vliv jednotlivých složek výfukových plynů ze spalovacích motorů na lidský organismus. Cílem této práce je porovnání výfukových emisí při jízdě v hustém provozu s emisemi produkoványi při plynulé jízdě a následné statistické zpracování dat.

Klíčová slova: hustý provoz, emise, volnoběh, katalyzátor, dopravní zácpa

OPERATING CONDITIONS OF AUTOMOBILE ENGINE IN HEAVY TRAFFIC

Annotation

This thesis deals with the operating conditions of a passenger car in heavy traffic. Attention is paid mainly to the amount of emissions produced by the combustion engine when driving in traffic. The thesis also deals with the placing of experimental apparatus for the measurements. A large section is devoted to the reduction of exhaust emissions. Emphasis is placed on the impact of several components of exhaust fumes from internal combustion engines on the human organism. The aim of this study is to compare the exhaust emissions while driving in heavy traffic with emissions produced by the smooth driving and subsequent statistical analysis of data.

Key words: heavy traffic, emissions, vehicle idling, catalytic converter, congestion

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2013

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultanty.

V dne

.....

Mimra Jakub

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce Michalu Vojtíškovi, M.Sc. Ph.D, dále konzultantům Ing. Aleši Dittrichovi a Ing. Martinu Mazačovi za jejich rady, podněty a čas, který mi věnovali při řešení dané problematiky. Chtěl bych také poděkovat své rodině a svým blízkým za jejich podporu při mém studiu a hlavně při psaní bakalářské práce.

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam symbolů a jednotek.....	11
Úvod	12
1 Charakteristika hustého provozu	13
2 Volnoběžné emise	14
3 Redukce emisí produkovaných pístovými spalovacími motory.....	16
3.1 Lambda sonda a lambda okno	17
3.2 Účinnost katalyzátoru a další možnosti snížení emisí	19
3.3 Vliv volnoběhu na katalyzátor.....	21
4 Vliv škodlivin z výfukových plynů na lidské zdraví	23
5 Další aspekty volnoběhu	26
6 Měření	27
6.1 Zástavba experimentální aparatury	28
6.2 Oblast měření	31
6.3 Výsledky měření	32
6.3.1 Úsek číslo 1	33
6.3.2 Úsek číslo 2	34
6.3.3 Úsek číslo 3	35
6.3.4 Úsek číslo 4	36
6.3.5 Úsek číslo 5	37
6.3.6 Úsek číslo 6	38
6.3.7 Plynulá jízda.....	39
6.4 Teplota výfukových plynů pro jednotlivé úseky.....	40
6.4.1 Teplota výfukových plynů pro první úsek	40
6.4.2 Teplota výfukových plynů pro druhý úsek	40
6.4.3 Teplota výfukových plynů pro třetí úsek.....	41
6.4.4 Teplota výfukových plynů pro čtvrtý úsek	41
6.4.5 Teplota výfukových plynů pro pátý úsek	42

6.4.6	Teplota výfukových plynů pro šestý úsek.....	42
6.4.7	Teplota výfukových plynů pro plynulou jízdu.....	43
6.5	Vypočtené hodnoty.....	43
Závěr	46
Seznam použité literatury a zdrojů	47

Seznam obrázků

Obrázek 1: Řez katalyzátorem [11]	16
Obrázek 2: Lambda okno [14]	17
Obrázek 3: Princip činnosti lambda sondy[16].....	18
Obrázek 4: Napěťová charakteristika lambda sondy při teplotě 600°C [16]	18
Obrázek 5: Vyhřívaná lambda sonda [16]	19
Obrázek 6: Vliv součinitele λ na účinnost katalyzátoru [13]	19
Obrázek 7: Závislost HC, CO a NO _x na součiniteli λ zážehového motoru [13]	20
Obrázek 8: Závislost HC, CO, NO _x a sazí na součiniteli λ u vznětových motorů [13]	21
Obrázek 9: Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km (ČR 2010) [19]	23
Obrázek 10: Emisní hustoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5x5 km (ČR 2010) [19] ...	24
Obrázek 11: Měrné emise tuhých látek čtverců 5x5 km (ČR 2010) [19].....	25
Obrázek 12: Vnější otáčková charakteristika motoru měřeného vozidla	28
Obrázek 13: Zástavba analyzátoru, umístění gelových baterií a měniče napětí.....	29
Obrázek 14: Trubička pro odběr vzorku výfukových plynů společně s termočlánkem	30
Obrázek 15: Vedení kabelu OBDII a jeho propojení s počítačem.....	30
Obrázek 16: Vedení vzorku výfukových plynů do analyzátoru a vývod výfukových plynů z vozidla	31
Obrázek 17: Mapa trasy z Liberce do Prahy a zpět [26].....	32
Obrázek 18: Detail Prahy (ve žlutém ohraničení jsou oblasti s hustým provozem a v modrém je plynulá jízda) [26].....	32
Obrázek 19: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro první úsek.....	33
Obrázek 20: Graf naměřených hodnot NO _x a HC pro první úsek	33
Obrázek 21: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro druhý úsek	34
Obrázek 22: Graf naměřených hodnot NO _x a HC pro druhý úsek	34
Obrázek 23: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro třetí úsek.....	35
Obrázek 24: Graf naměřených hodnot NO _x a HC pro třetí úsek	35
Obrázek 25: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro čtvrtý úsek	36
Obrázek 26: Graf naměřených hodnot NO _x a HC pro čtvrtý úsek.....	36
Obrázek 27: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro pátý úsek	37
Obrázek 28: Graf naměřených hodnot NO _x a HC pro pátý úsek	37
Obrázek 29: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro šestý úsek	38

Obrázek 30: Graf naměřených hodnot NO _x HC pro šestý úsek.....	38
Obrázek 31: Graf naměřených hodnot CO a CO ₂ pro plynulou městskou jízdu	39
Obrázek 32: Graf naměřených hodnot NO _x a HC pro plynulou městskou jízdu.....	39
Obrázek 33: Graf teploty výfukových plynů pro první úsek.....	40
Obrázek 34: Graf teploty výfukových plynů pro druhý úsek.....	40
Obrázek 35: Graf teploty výfukových plynů pro třetí úsek	41
Obrázek 36: Graf teploty výfukových plynů pro čtvrtý úsek	41
Obrázek 37: Graf teploty výfukových plynů pro pátý úsek.....	42
Obrázek 38: Graf teploty výfukových plynů pro šestý úsek	42
Obrázek 39: Graf teploty výfukových plynů pro plynulou jízdu	43
Obrázek 40: Graf závislosti teploty motoru a množství nasávaného vzduchu na rychlosti a otáčkách pro poslední dva úseky	45

Seznam tabulek

Tabulka 1: Produkce emisí za různých teplot úřadu EPA USA. [12].....	15
Tabulka 2: Technická specifikace měřeného vozidla [21],[22],[23].....	27
Tabulka 3: Převodové poměry převodovky měřeného vozidla [24]	27
Tabulka 4: Shrnutí naměřených a vypočtených hodnot.....	44
Tabulka 5: Vypočtená spotřeba paliva v daných úsecích	44

Seznam symbolů a jednotek

t	čas	[s]
v	rychlost	[m.s ⁻¹]
V	objem	[m ³]
l	délka	[m]
M _t	točivý moment	[Nm]
P	výkon	[kW]
U	elektrické napětí	[V]
n	otáčky	[min ⁻¹]
s	dráha	[m]
z	počet zubů ozubeného kola	[-]
m	hmotnost	[kg]
\dot{m}_{CO}	hmotnostní tok oxidu uhelnatého	[g.s ⁻¹]
\dot{m}_{CO_2}	hmotnostní tok oxidu uhličitého	[g.s ⁻¹]
$m_{C/CO}$	hmotnostní podíl uhlíku v oxidu uhelnatém	[-] [%]
m_{C/CO_2}	hmotnostní podíl uhlíku v oxidu uhličitém	[-] [%]
$m_{C/benzín}$	hmotnostní podíl uhlíku v benzínu	[-] [%]
λ	součinitel přebytku kyslíku	[-]
N ₂	dusík	
NO ₂	oxid dusičitý	
NO _x	oxidy dusíku	
H ₂ O	voda	
O ₃	ozon	
O ₂	kyslík	
SO ₂	oxid siřičitý	
HC	uhlovodíky	
CO	oxid uhelnatý	
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky	
BaP	benzo-a-pyren	
PM	particulate matter	pevné částice
VOC	volatile organic compound	volatilní organické látky
DPF	diesel particulate filter	filtr pevných částic
EGR	exhaust gas recirculation	recirkulace výfukových plynů
SCR	selective catalytic reduction	selektivní katalytická redukce
HTP	high torque performance	přenos vysokého kroutícího momentu
OBDII	On-board-diagnostics	protokol k diagnostice systémů osobních automobilů
EPA	Environmental Protection Agency	Agentura pro ochranu životního prostředí

Úvod

V současné době prudce vzrůstá počet osobních automobilů provozovaných na našich silnicích. S narůstajícím počtem vozidel stoupá i množství emisí, které produkují spalovací motory využívané pro pohon automobilů. Ve velkých městech dochází k dopravním zácpám, ke kterým právě narůst počtu vozidel přispívá velkou měrou. Následkem toho dochází ke zvýšení koncentrace škodlivých emisí v městských aglomeracích. Vzhledem k tomu, že emise produkované vozidly mají nepříznivé účinky na lidský organismus a na životní prostředí, je nutností tyto emise snižovat. Jestliže automobil dojíždí kolonu vozidel, nebo už v ní stojí, řidič většinou nevypíná motor (s výjimkou START-STOP systému). Díky tomu dochází ke spalování směsi paliva a vzduchu, která udržuje spalovací motor v chodu, ale není využita pro jízdu.

Motor je ve volnoběžných otáčkách a udržuje v chodu přídatná zařízení. Pokud stojí vozidlo v zácpě se spuštěným motorem, emise se shromažďují v jeho okolí a nejsou rozptýlovány pohybem vozidel. Proto v nejbližších místech komunikací, kde jsou dlouhodobě zácpy, nebo hodně hustý provoz, vzrůstá velmi rychle koncentrace škodlivin. Lidé v bezprostřední blízkosti těchto komunikací jsou vystaveni působení škodlivých látek výfukových plynů a mají často astmatické a další zdravotní problémy. Z výše uvedených důvodů se ve svojí práci zabývám hlavně měřením emisí, které produkuje vozidlo pohybující se v dopravní zácpě. Dále jsou tyto emise porovnávány s emisemi produkovanými plynulou jízdou vozidla.

1 Charakteristika hustého provozu

Pro jízdu v hustém provozu je typickým znakem časté popojíždění a stání vozidla na místě se spuštěným motorem. Při malé plynulosti provozu je agregát vozidla ve volnoběžném režimu po většinu času, kdy se vozidlo nachází v koloně.

Definice zácpy dle autora této práce: zácpa je jízdní režim, u kterého je poměr času stráveného stáním vozidla a času při jízdě a popojíždění přibližně stejný nebo větší než 1.

Při takovéto jízdě vozidla v dopravní zácpě se snižuje průměrná rychlost a průměrné zatížení motoru. V některých situacích dochází k prudkým změnám provozních podmínek. Při jízdě v koloně vozidel je potřebný výkon motoru v širokém rozsahu [1]. Nulové zatížení je právě v těch situacích, kdy vozidlo stojí v koloně, brzdí (pouze brzdami) nebo dojíždí kolonu. Plný výkon je požadován, pokud je nutný rychlý rozjezd vozidla, při předjíždění nebo při neočekávaných dopravních situacích. Touto proměnlivostí zátěže dochází ke změnám otáček ve velkém rozsahu. Následkem toho je kolísání spotřeby paliva, a tím i zvýšení následných emisí. Některé spalovací motory jsou při akceleraci předávkovány palivem kvůli zvýšení výkonu, nebo zajištění stability chodu, tímto ovšem dochází k prudkému nárůstu emisí [1].

Provozní podmínky automobilu dále závisí také na teplotě, vlhkosti a tlaku okolního prostředí a nadmořské výšce.

2 Volnoběžné emise

Emise produkované při volnoběžném režimu jsou považovány za mnohem škodlivější, než emise produkované zatíženým motorem při překonávání jízdních odporů. Tyto škodliviny bývají kolem automobilu koncentrovány a nejsou rozptýleny pohybem vozidel. Vzhledem k narůstající koncentraci škodlivých látek v okolí vozidel stojících v dopravních zácpách, zejména pokud vozidla stojí na komunikaci v obou směrech, už některé země schválily zákony zabývající se vypnutím motoru běžícího na volnoběh po určité době [2]. Někteří výrobci automobilů instalují do svých vozidel tzv. START-STOP systém. Tento systém snižuje spotřebu paliva a množství emisí. Jestliže vozidlo stojí a motor je ve volnoběžném režimu, řídicí jednotka vyhodnotí data z několika snímačů a případně vypne agregát. K tomu, aby byl vypnut motor, je nutné, aby snímače kontrolovaly otáčky motoru, zda jsou kola v klidu a jestli má akumulátor dostatečné množství energie na opětovné nastartování spalovací jednotky. Tento systém je výhodný zejména pro vozidla, která čekají dlouhou dobu na světelnou signalizaci křižovatek nebo v kolonách vozidel. Při využívání "START-STOPu" je obvykle snížena spotřeba paliva o 5-10% [3],[4],[5].

Při volnoběhu je směs paliva a vzduchu značně nehomogenní a hoří pomaleji. Příčinou je menší víření ve válci kvůli nižším otáčkám. Směs hoří pomaleji také kvůli menší teplotě těsně před zážehem, protože není stlačována tak rychle, jako při otáčkách vyšších. Při volnoběžných otáčkách je nižší tvorba NO_x . Při poklesu k volnoběžným otáčkám se obohacuje palivová směs a následkem je právě to, že klesá množství NO_x , ale HC rostou [6]. Pro vznik oxidů dusíku je potřebná vysoká aktivační energie (vysoká teplota a vysoký tlak) [7]. Po provedených studiích v Kanadě bylo zjištěno, že při volnoběhu trvajícím déle než 10 s se spálí více paliva a vyprodukuje více CO_2 , než při vypnutí a opětovném nastartování motoru. Využívání tohoto systému ovšem způsobuje opotřebení spouštěče motoru a snižuje životnost akumulátoru [8].

V hustém provozu, kde dochází často k tomu, že vozidlo stojí na místě, ale motor drží volnoběžné otáčky, je specifickým znakem častá akcelerace a následná decelerace. Při častých rozjezdech v koloně vozidel je typické využívání prvního rychlostního stupně a neutrálu, čímž se zvětšuje opotřebení třecí lamely spojky.

Při častém zrychlování dochází k mnohem většímu znečištění ovzduší,

než při plynulé jízdě [1]. Podle testů provedených ve Spojených státech Amerických je dokázáno, že do rychlosti 25 km/h klesá množství NO_x a v rozmezí od 25-70 km/h roste. V méně husté zácpě, kde klesá počet zastavení (myšleno plynulejší provoz), se snižují emise s výjimkou NO_x , které naopak rostou. Na produkované emise má obrovský vliv stav vozidla, stáří motoru, agresivita řidiče, ovlivněná i jeho pohlavím, soustředěností a podobně [9].

Při studených startech, za nízkých teplot okolního vzduchu, je množství emisí produkovaných spalovacím motorem při volnoběžných otáčkách výrazně vyšší, než oproti volnoběhu zahřátého motoru na pracovní teplotu. Toto zvýšení je následkem toho, že katalyzátor není dostatečně zahřátý a je příliš ochlazován okolním vzduchem. Provozní teplota katalyzátoru začíná na 300-400 °C, proto je nutné motor zahřívát jízdou. Pokud nemá vozidlo správně fungující katalyzátor, množství emisí produkovaných do prostředí je vyšší. [10],[11].

Podle výsledků výzkumu provedeného EPA (Agentura pro ochranu životního prostředí USA), je produkce volnoběžných emisí vyšší za nižších teplot okolí. Byly porovnávány volnoběžné emise motorů v zimních (-1,1 °C) a v letních podmínkách (23,9 °C). Měření bylo provedeno na osobních automobilech do 2 720 kg se zážehovými motory. Výsledky měření zachycuje následující tabulka [12].

	Zima (-1,1 °C)		Léto (23,9 °C)	
Složka výfukových plynů	Hodnota	Jednotky	Hodnota	Jednotky
Volatilní organické látky	21,1	g/h	16,1	g/h
	0,352	g/min	0,269	g/min
Oxid uhelnatý	371	g/h	229	g/h
	6,19	g/min	3,82	g/min
Oxidy dusíku	6,16	g/h	4,72	g/h
	0,103	g/min	0,079	g/min

Tabulka 1: Produkce emisí za různých teplot úřadu EPA USA. [12]

K nižší produkci emisí za vyšších teplot napomáhá i to, že jsou menší ztráty tepla do stěn válce. Dalším úskalím nízké teploty okolního vzduchu je teplota katalyzátoru, která nemusí být v rozmezí jeho pracovní teploty, což je způsobeno tím, že je katalyzátor příliš ochlazován okolím. U vznětových motorů je za chladných dní ještě problém ten, že je nižší teplota na začátku spalování, a tím i na konci komprese.

3 Redukce emisí produkovaných pístovými spalovacími motory

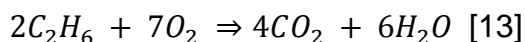
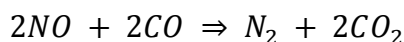
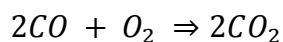
Nejvýznamnějším zařízením, které snižuje množství škodlivin obsažených ve výfukových plynech zážehových motorů, je katalyzátor. Tento prvek výfukového systému snižuje emise výfukových plynů vznikající nedokonalým spalováním palivové směsi. Hlavním úkolem katalyzátoru je přeměna uhlovodíků (HC), oxidu uhelnatého (CO) a oxidů dusíku (NO_x) na méně škodlivé látky jako je vodní pára, oxid uhličitý a dusík.

Na nosiči z keramiky nebo oceli je tenká katalytická vrstva, která bývá zpravidla z platiny pro oxidační katalyzátor, nebo z rhodia pro katalyzátor redukční. Pro správnou funkci katalyzátoru je nutné používat bezolovnatý benzín, jelikož olovo narušuje a ničí katalytický účinek vzácných kovů [11]. Katalyzátor má voštinovou konstrukci tvořenou tisíci nepatrných kanálků. Při průchodu výfukových plynů těmito kanálky jsou jejich složky oxidovány nebo redukovány (odnímání kyslíku) [13].



Obrázek 1: Řez katalyzátorem [11]

Reakce probíhající v třícestném katalyzátoru:

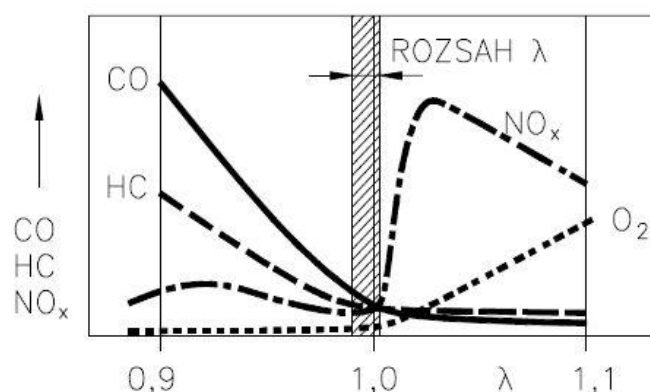


V první fázi dojde ke štěpení NO_x na kyslík a dusík. Následně proběhne syntéza kyslíku s oxidem uhelnatým a uhlovodíky. Tyto reakce mohou probíhat pouze za přítomnosti vzácných kovů jako je platina, rhodium a paladium. Výsledkem těchto reakcí je nejedovatý CO₂ a H₂O. Nynější katalyzátory jsou

schopny odstranit více než 95 % uhlovodíků a oxidu uhelnatého a 90 % oxidů dusíku [11].

3.1 Lambda sonda a lambda okno

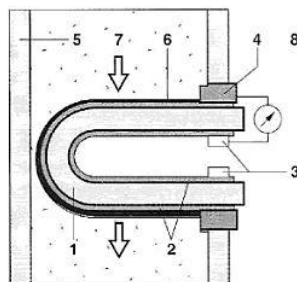
Třícestný katalyzátor pro zážehové motory redukuje emise NO_x , CO a HC. Tento katalyzátor může mít vysokou účinnost pouze v tzv. lambda oknu. Lambda okno je úzký pás poměru suchého vzduchu přivedeného do spalovacího prostoru a vzduchu potřebného k dokonalému spálení paliva ve směsi ($\lambda=0,99-1,002$) [14].



Obrázek 2: Lambda okno [14]

V moderních vozidlech jsou používány dvě lambda sondy. První je umístěna před katalyzátorem a druhá za katalyzátorem. Díky tomu je vytvořena zpětná vazba. První sonda s pomocí řídicí jednotky nastavuje poměr paliva a vzduchu ve spalované směsi. Údaje z druhé lambda sondy vyhodnocují účinnost katalyzátoru. Pokud je na obou sondách shodný přebytek kyslíku, katalyzátor je nefunkční, jelikož je jeho účinnost nulová. Lambda sondy posílají data do řídicí jednotky, která následně nastavuje složení palivové směsi tak, aby poměr paliva a vzduchu byl ve stechiometrickém poměru [15].

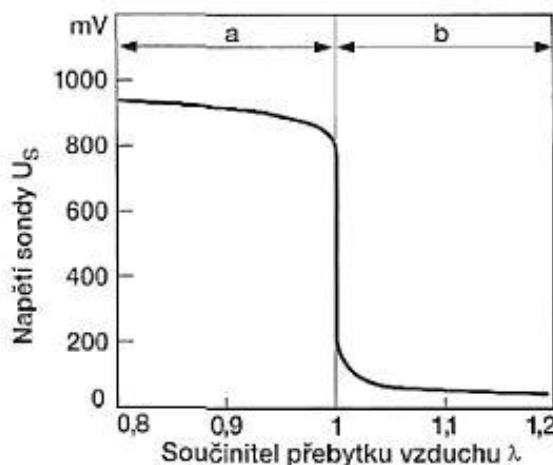
Lambda sonda je složena ze dvou elektrod. Elektroda na vnější straně lambda sondy zasahuje do proudu výfukových plynů a vnitřní je obklopena venkovním vzduchem.



1 – aktivní keramika sondy, 2 – elektrody, 3 – kontakt, 4 – upevnění v tělese, 5 – výfukové potrubí, 6 – keramická porézní ochranná vrstva, 7 – výfukové plyny, 8 – čistý vzduch

Obrázek 3: Princip činnosti lambda sondy[16]

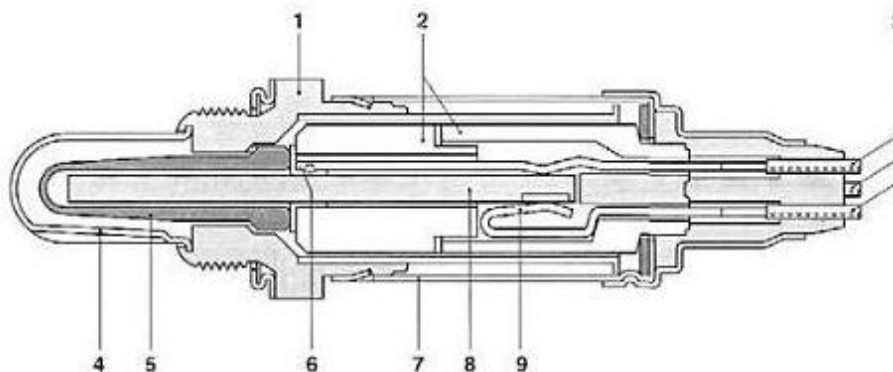
Sonda je složena ze speciální keramiky, na jejímž povrchu jsou nanášeny tenké platinové elektrody, které mají schopnost propouštět plyn. Účinek lambda sondy je založen na propustnosti porézní keramické hmoty, která dovoluje difúzi vzdušného kyslíku (jako pevný elektrolyt). Při dosažení vysokých teplot, se keramika stává vodivou. Pokud je objem kyslíku na obou stranách elektrod různý, vznikne na elektrodách elektrické napětí. Pokud je spalovaná směs stechiometrická, ($\lambda=1$) její napětí se skokově mění (viz. obrázek níže).



Obrázek 4: Napěťová charakteristika lambda sondy při teplotě 600°C [16]

Teplota sondy významně ovlivňuje její výstupní napětí. Spolehlivá regulace začíná od 350 °C u nevyhřívané sondy a od 200 °C u vyhřívané sondy. Vyhřívaná lambda sonda z konstrukčního hlediska téměř odpovídá sondě nevyhřívané. Keramika této sondy je však zevnitř vyhřívaná keramickým topným tělesem, což má za následek to, že je dosaženo pracovní teploty sondy i při nízké teplotě výfukových plynů. Tato sonda je opatřena ochrannou trubicí, která zabraňuje jejímu

ochlazování. Vyhřívaná sonda zkracuje dobu od nastartování do doby zahájení lambda regulace. Dále umožňuje regulaci při volnoběhu, kdy je nízká teplota spalin. Další výhodou vyhřívané lambda sondy je to, že zkracuje rychlost lambda regulace [16].

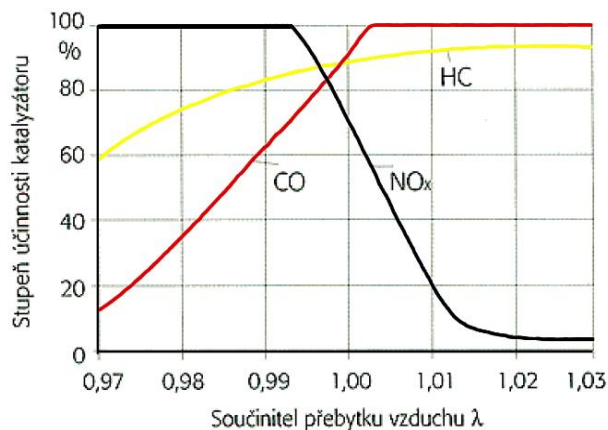


1 – těleso sondy, 2 – keramická ochranná trubka, 3 – elektrické kontakty, 4 – ochranný klobouček se zářezy, 5 – aktivní keramika sondy, 6 – kontaktní část, 7 – ochranné pouzdro, 8 – vyhřívaný element, 9 – svorkové připojení topného elementu

Obrázek 5: Vyhřívaná lambda sonda [16]

3.2 Účinnost katalyzátoru a další možnosti snížení emisí

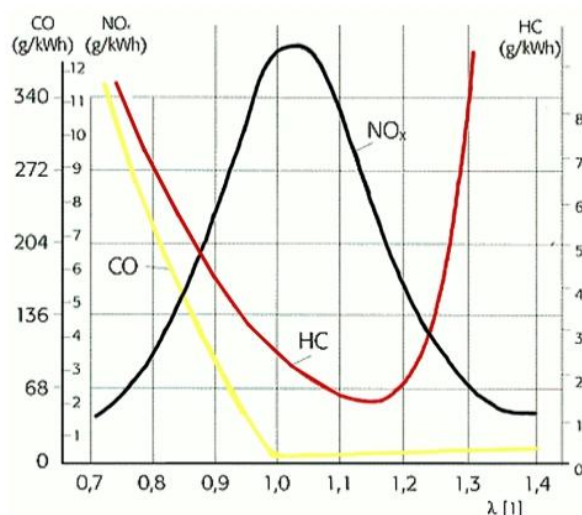
Katalyzátor má nejvyšší účinnost pokud má spalovaná směs právě $\lambda=1$ [13].



Obrázek 6: Vliv součinitele λ na účinnost katalyzátoru [13]

Účinná plocha katalyzátoru pro motor o objemu $1,8 \text{ dm}^3$ je přibližně stejně velká jako plocha dvou fotbalových hřišť [11].

Na následujícím obrázku je vidět graf závislosti hlavních škodlivin na součiniteli přebytku vzduchu lambda u zážehových motorů:



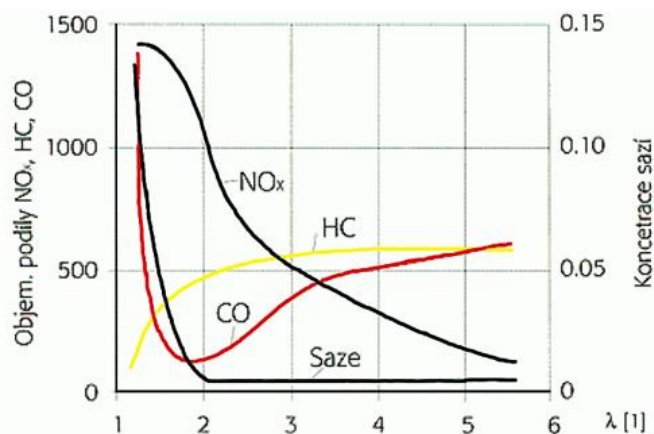
Obrázek 7: Závislost HC, CO a NO_x na součiniteli λ zážehového motoru [13]

Katalyzátor pro vznětové motory (SCR) pracuje s přebytkem vzduchu, proto dochází k čištění výfukových plynů dodatečným spalováním v oxidačním katalyzátoru. K tomuto dodatečnému spalování je použit právě zbytkový kyslík, obsažený ve výfukových plynech. Tímto spalováním se snižuje obsah uhlovodíků a oxidu uhelnatého. U vznětových motorů není používáno řízené čištění výfukových plynů a oxidační katalyzátor přeměňuje jen ty složky výfukových plynů, které je možné měnit oxidací. Oxidy dusíku jsou u vznětových motorů redukovány už během spalování pomocí recirkulace výfukových plynů (EGR). To znamená, že se kontrolovaně část výfukových plynů zavádí zpět do spalovacího prostoru.

EGR (exhaust gas recirculation) – část výfukových plynů prochází výměníkem tepla, kde je ochlazená a následně je opět nasávána do válce, kde se zúčastní spalování. Tím dojde k razantnímu snížení emisí NO_x, ale naopak je zvýšen počet pevných částic, které je nutno zachycovat filtrem pevných částic (DPF – diesel particulate filter) [17].

Probíhá-li spalování za nízkého přebytku vzduchu, roste množství CO, HC a pevných částic (PM) [11].

Následující obrázek zachycuje závislost hlavních škodlivin na součiniteli λ u vznětových motorů:



Obrázek 8: Závislost HC, CO, NO_x a sazí na součiniteli λ u vznětových motorů [13]

Aby došlo ke snížení emisí už při samotném spalování, je nutné, aby byla palivová směs homogenní a byla v optimálním množství a poměru. Podstatnou roli hraje u zážehového motoru i okamžik zážehu směsi. Okamžik přeskočení jiskry na zapalovací svíčke je optimalizován řídicí jednotkou [13]. Ke snižování emisí může přispět i následná úprava řídicí jednotky. V Čechách je tato úprava známa spíše pod pojmem chiptuning, jenže v drtivé většině případů se zvyšuje výkon motoru, což má za následek větší spotřebu paliva a také vyšší emise.

Katalyzátor zvyšuje protitlak ve výfukovém systému a tím snižuje výkon motoru. Složení škodlivin u vznětových motorů je možné ovlivnit především vhodnou tvorbou spalované směsi ve válci. Na emise má značný vliv také okamžik vstřiku paliva, jelikož zde není palivo zapáleno jiskrou zapalovací svíčky [13], [6].

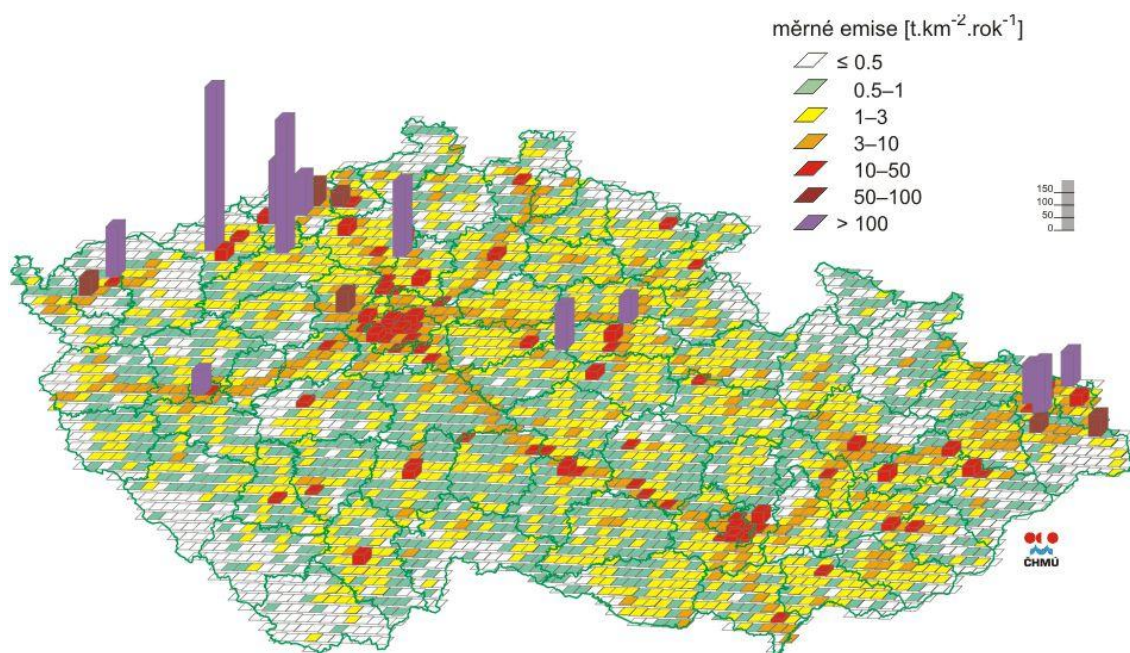
3.3 Vliv volnoběhu na katalyzátor

Závislost účinnosti katalyzátoru na teplotě výfukových plynů je významná. Při teplotě katalyzátoru pod 250 °C je jeho účinnost velmi nízká až žádná. Vznětové motory produkují při volnoběhu výfukové plyny o teplotě přibližně 100 °C, čímž se katalyzátor ochladí a dojde k rapidnímu úbytku účinnosti. Pokud stojí vozidlo v zácpě a následně se prudce rozjede, jeho výfukové plyny nejsou dostatečně ošetřeny funkčním oxidačním katalyzátorem (pro organické látky) ani funkčním SCR (pro NO_x). Dlouhodobě nízké teploty výfukových plynů způsobují problémy i u motorů s filtry pevných částic, protože nedochází k jejich opakované regeneraci. Aby k takové regeneraci došlo, je nutné zatížit motor větší zátěží, čímž se zvedne i teplota výfukových plynů. Dalším způsobem je zvýšení teploty výfukových plynů vstřikem paliva do výfukového systému, nebo vstříknutí paliva po skončení hlavní

fáze hoření, kde dojde ke spálení až v oxidačním katalyzátoru. Při dlouhodobém provozu na volnoběh jsou ochlazovány vnitřní povrchy spalovacího prostoru, čímž dochází k méně kvalitnímu spalování. Toto ochlazení je příčinou vzniku většího množství volatilních organických látek. Tyto organické látky jsou vypouštěny do ovzduší, nebo se usadí ve výfukovém systému. Při následném navýšení zatížení a teploty jsou tyto látky emitovány do okolního prostředí při probíhající akceleraci a následné jízdě vozidla. Výfukové plyny v podmínkách hustého provozu náhle mění své složení a objem, což vyžaduje přesné řízení motoru nebo SCR [13],[11].

4 Vliv škodlivin z výfukových plynů na lidské zdraví

Oxidy dusíku (NO_x) – Nejvýznamnějším z této skupiny je oxid dusičitý (NO_2), který je dráždivý. Oxidy dusíku způsobují záněty průdušek a plic. Pokud se vyskytují ve vyšších koncentracích, způsobují i otok plic s rizikem smrti. Oxidy dusíku mohou způsobovat i poškození imunitního systému [18].



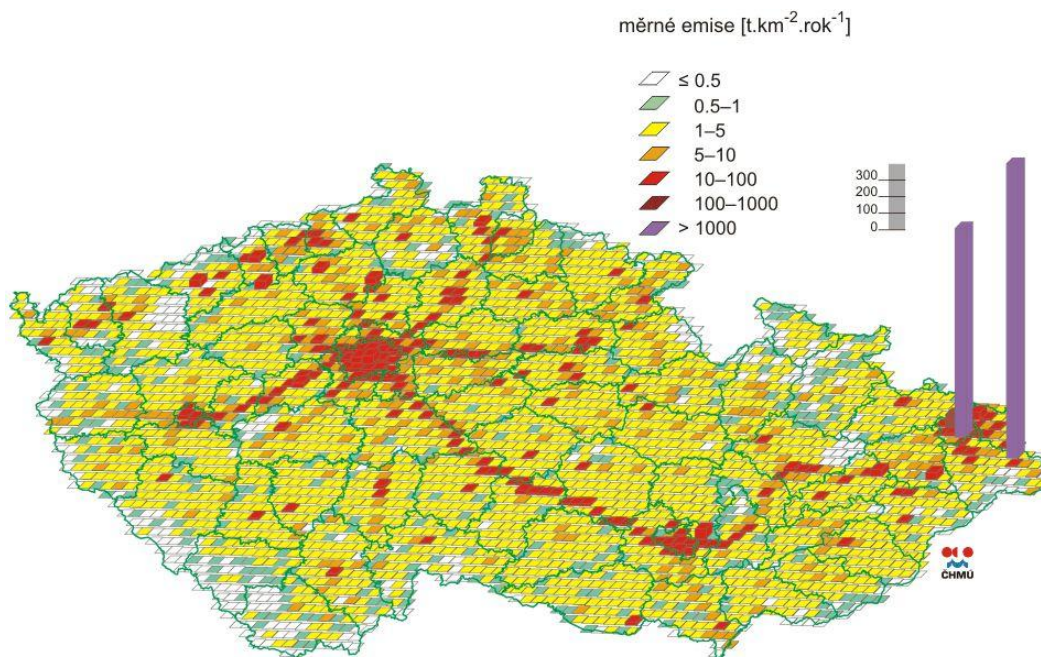
Obrázek 9: Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km (ČR 2010) [19]

Přízemní ozon (O_3) – vzniká zejména chemickou reakcí mezi oxidy dusíku a těkavými organickými látkami při působení slunečního záření. Pokud se nachází v přízemní vrstvě, ničí vegetaci a poškozuje některé materiály. V lidském organismu poškozuje hlavně plíce, u kterých znesnadňuje vykonávání běžných funkcí. U postižených jedinců dochází k dráždění hrtanu, pocitu sucha v krku, bolestem pod hrudní kostí, malátnosti a spoustě dalších příznaků. Ve velkých městech je problémová koncentrace ozonu v poledních a odpoledních hodinách [18].

Oxid uhličitý (CO_2) – na lidský organismus nemá žádný podstatný vliv, ale patří mezi nejvýznamnější skleníkové plyny. Silniční doprava u nás vyprodukuje přes 90% roční celkové produkce CO_2 . Produkce CO_2 je celosvětovým problémem [18].

Oxid uhelnatý (CO) – vzniká nedokonalým spalováním směsi v motoru. Má schopnost vázat se na krevní barvivo mnohem lépe než kyslík, a tím způsobuje deficit okysličení krve. Mezi příznaky otravy CO patří bolesti hlavy, závrať, srdeční

potíže a malátnost. Oxid uhelnatý má schopnost vázat se ke kyslíku a tím způsobuje nedostatečné prokrvení tkání [18]. Následující obrázek zachycuje množství CO v ČR. Je na něm také vidět, že v blízkosti hlavních dopravních tepen jsou emise CO vysoké.



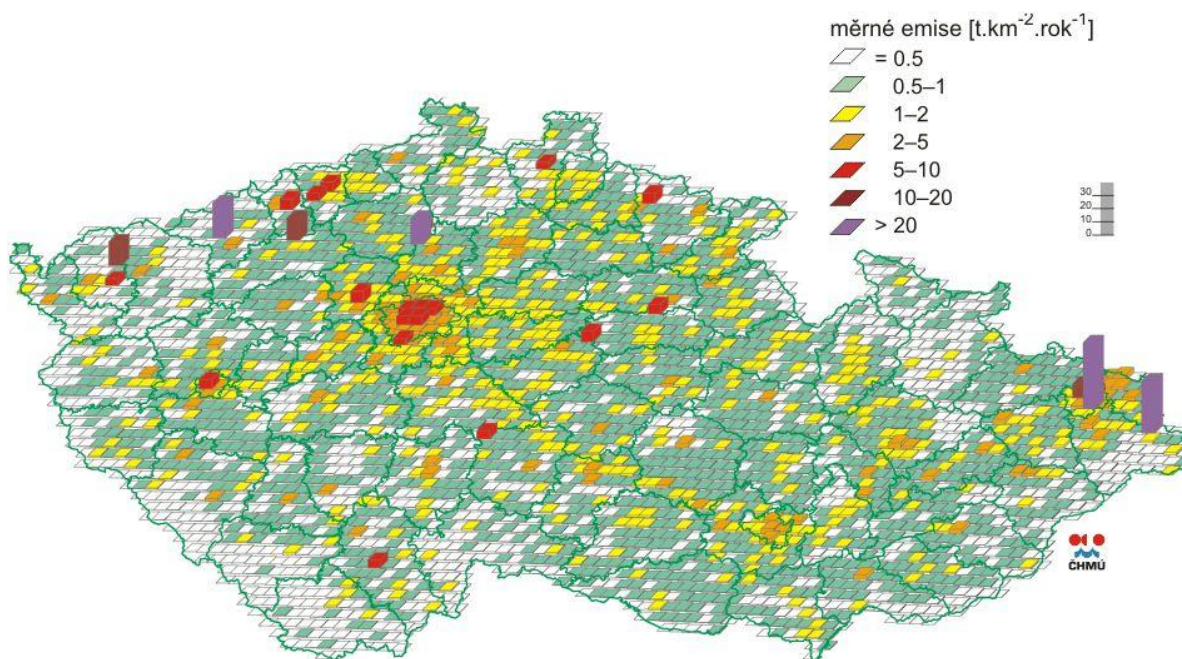
Obrázek 10: Emisní hustoty oxidu uhelnatého ze čtverců 5x5 km (ČR 2010) [19]

Oxid siřičitý (SO_2) – Díky spalování bezolovnatých paliv se v posledních letech ve výfukových plynech objevuje v mnohem menší míře než dříve, ale ve spojení s dalšími škodlivinami jsou jeho dopady na zdraví rizikové. Při vdechování se vstřebává v nose a v horních cestách dýchacích, kde se projevuje jeho dráždivý účinek. Pokud je člověk vystaven vysokým koncentracím, může dojít k otoku hrtanu a plic [13].

Olovo – Obsah olova v životním prostředí je tvořen z 80-90 % spalováním autobenzínů, do kterých se přidává tetraethylolovo. Tetraethylolovo je plícemi vstřebáváno rychle. Skoro 100 % z něj se v játrech přemění na ještě škodlivější triethylolovo. Olovo působí na člověka toxicky, ukládá se v měkkých tkáních a vlasech. Olovnaté benzíny byly v ČR staženy z prodeje, a proto se očekává, že se obsah olova v životním prostředí bude postupně snižovat. Stále je ale nutné dávat pozor na olovo, které zůstává v okolí silnic a v sedimentovaných rybnících [13].

Prachové částice – nejvíce jich produkují automobily se vznětovými motory. Jde o různorodou směs anorganických a organických látek velmi malých velikostí. Tyto částice jsou dnes pravděpodobně původcem rakoviny. Největší nebezpečí

ve vdechování prachových částic se skrývá v různorodých nebezpečných látkách, které se s těmito částicemi spojují. Následující obrázek zachycuje měrné emise tuhých látek (částice vzniklé spalováním motorových paliv společně s otěry brzd, pneumatik a vozovek, částice vznikající z lokálních topenišť) [18]. Na hlavních dopravních tazích je množství prachových částic vyšší, než v oblastech bez dálnic a rušných silnic (viz. obrázek níže).



Obrázek 11: Měrné emise tuhých látek čtverců 5x5 km (ČR 2010) [19]

Těkavé organické látky (VOCs) – Daleko větší množství těchto látek produkuje spalování bezolovnatých benzínů než spalování nafty v motoru s odpovídajícím výkonem. Nejvýznamnější těkavou organickou látkou je benzen, který je toxický. Pokud dochází k jeho vdechování ze vzduchu, vstřebává se asi 50 % jeho množství. Při dlouhodobém vystavení lidského organismu benzenu je poškozován nervový systém, játra, imunitní systém, způsobuje i krvácení do plic a poškozuje kostní dřeň [18].

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) – dalším produktem nedokonalého spalování směsi jsou PAU. Těchto látek jsou stovky, z nichž nejnebezpečnější je asi benzo-a-pyren (BaP), který je rakovinotvorný [18].

Aldehydy – nejvýznamnějším je formaldehyd, který má rakovinotvorné účinky, poškozuje mozek a způsobuje leukémii. Aldehydy jsou vstřebávány v dýchacím a trávicím ústrojí, dráždí oči a sliznice [13].

5 Další aspekty volnoběhu

Volnoběh je nejméně účinný jízdní režim, jelikož spalujeme palivo, ale ujetá vzdálenost je nulová. Tím pádem je měrná spotřeba paliva [g.kWh^{-1}] velmi vysoká [10].

Při studených zimních startech je výhodnější zahřívát vozidlo jízdou. Pokud vozidlo stojí na místě se spuštěným motorem, další pohyblivé části zůstávají studené. Vozidlo by mělo být zahříváno lehkou jízdou jako celek, aby došlo k postupnému zahřátí motoru, převodovky a diferenciálu. Dále musí být zahřáta ložiska, tlumiče, řízení i pneumatiky. Pokud není motor zahřátý na pracovní teplotu, může docházet k tomu, že není spáleno všechno vstříknuté palivo a může nastat problém s jeho hromaděním na stěně válce. Posléze se začne mísit s olejem a následkem toho bude poškození některých částí motoru. Při zahřívání vozidla jízdou je zkrácen čas potřebný pro dosažení pracovních teplot (motor, katalyzátor) až o polovinu, což snižuje spotřebu paliva a šetří životní prostředí [10]. Pokud je vozidlo při studeném startu pouze ve volnoběžných otáčkách, dochází k tomu, že se píst ohřívá rychleji než vložka válce, a tím dochází ke ztenčení vrstvy olejového filmu. Následkem toho bývá větší opotřebení důsledkem tření a vyšší pasivní odpory. Díky vyšším pasivním odporům je i vyšší spotřeba paliva.

Další problém spočívá ve znečišťování oleje a následně i jeho filtru. Tím se postupně zanáší motor nečistotami, což vede k brzké repasi motoru [20]. Proto je nutné častěji měnit olejový filtr. U výkonnějších motorů jsou regulovány otáčky tak, aby měl olej dostatečný tlak, a tím docházelo k promazání všech potřebných součástí motoru.

Při zapnuté klimatizaci je při volnoběžných otáčkách zvýšena produkce emisí až o 13 % [10].

Při provozu na volnoběh není přílišná rezerva výkonu na vyrovnání zvýšeného odběru dalších spotřebičů automobilu. Tyto spotřebiče mohou být například klimatizace, vnitřní a vnější osvětlení a další. Provoz těchto spotřebičů má za následek pokles volnoběžných otáček, kvůli vyššímu odběru proudu. Do určité velikosti odběru výkonu lze volnoběžné otáčky regulovat předstihem zážehu, pokud ale tato regulace nestačí, je nutné mechanicky pootevřít škrticí klapku. Tím se docílí toho, že se velmi dobře udržují volnoběžné otáčky [6].

6 Měření

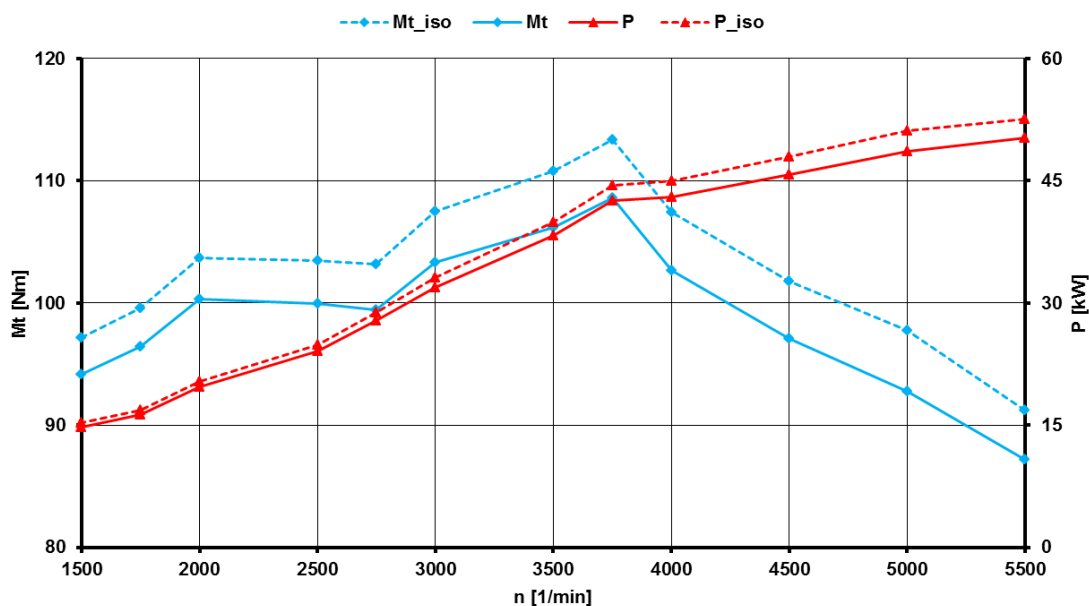
Měření bylo provedeno dne 29. 4. 2013 na vozidle ŠKODA FABIA 1.2 HTP vyrobeném v roce 2006 a najetými 114 000 km. Měření probíhalo na trase Liberec-Praha-Liberec s tím, že v Praze vozidlo jezdilo přibližně 3 hodiny ve zhuštěném provozu a v úplně zacpaných ulicích.

Motor	Zážehový
Počet válců	3
Počet ventilů	12
Zdvihový objem	1198 ccm ³
Nejvyšší výkon	47 kW při 5400 1/min
Nejvyšší točivý moment	112 Nm při 3000 1/min
Spotřeba paliva	7,7 l-město, 5,1 l-mimo, 6 l-kombinovaná
Zrychlení (0-100 km/h)	16,3 s
Produkce CO ₂	140-159 g/km
Vrtání	76,5 mm
Zdvih	86,5 mm
Ventilové rozvody	DOHC
Exhalační norma	EU 4

Tabulka 2: Technická specifikace měřeného vozidla [21],[22],[23]

Převodový stupeň	z_2/z_1
1.	3,455
2.	1,955
3.	1,387
4.	1,026
5.	0,851
Rozvodovka	4,533

Tabulka 3: Převodové poměry převodovky měřeného vozidla [24]



Obrázek 12: Vnější otáčková charakteristika motoru měřeného vozidla

K měření byl použit přenosný analyzátor napájený gelovými bateriemi s napětím 12 V. K měření koncentrací HC, CO a CO₂ jsou použity nedisperzivní infračervené analyzátory, pro měření koncentrace NO_x a O₂ se využívá elektrochemických článků. Analyzátor dále měří koncentraci částic pomocí nefelometru (zákaloměr). Integrovaná ionizační komora měří celkovou délku částic [25]. Tok výfukových plynů je odvozován z přímého měření, nebo metodou výpočtu z nasávaného toku vzduchu.

6.1 Zástavba experimentální aparatury

Analyzátor byl umístěn na sklopené zadní sedačce za řidičem. Do analyzátoru vedla hadice, kterou byly přiváděny výfukové plyny. Z přístroje vystupovala hadice, jež odváděla výfukové plyny ven z měřicího zařízení a z vozidla. Přívod plynů do analyzátoru byl pokrytý izolací, aby nedocházelo k brzké kondenzaci výfukových plynů na stěnách hadice. I přesto k této kondenzaci docházelo, a proto byla ještě před vstupem do analyzátoru vytvořena kondenzační smyčka. Ke kondenzaci výfukových plynů docházelo i v hadičce, která vystupovala z analyzátoru. Proto bylo nutné vždy přibližně po dvou hodinách měření hadičky odpojit a kondenzát vypustit. Vzniklý kondenzát by totiž mohl vážně poškodit měřicí zařízení. Obě hadičky vedly přes pootevřené okénko zadních dveří za řidičem ven z vozidla. Měřicí zařízení bylo

napájeno gelovou baterií uloženou v zavazadlovém prostoru ihned za analyzátozem. V tomto prostoru byla dále uložena druhá gelová baterie (jako záložní, pokud by došlo k vyčerpání kapacity prvního akumulátoru). V blízkosti druhého akumulátoru byl umístěn měnič napětí, který byl použit pro napájení přenosného počítače, jež byl pomocí diagnostického kabelu OBDII propojen s řídicí jednotkou vozidla. Pomocí programu VAG-COM byly na pevný disk přenosného počítače ukládány hodnoty z řídicí jednotky. Pomocí výše uvedeného softwaru byly sledovány otáčky, tlak vzduchu za škrticí klapkou, poloha škrticí klapky, teplota chladicí kapaliny a doba vstřiku paliva. Trubička odebírající vzorek výfukových plynů byla zavedena do výfuku do hloubky přibližně 3 cm. Připevněna byla pomocí kovových spon k nosiči zadního dílu výfuku. K této trubičce byl připevněn i termočlánek pro měření teploty výfukových plynů. Údaj z termočlánu byl pouze kvalitativní a sloužil pouze pro porovnání jízdních režimů. Na následujících obrázcích je uvedena fotodokumentace zástavby experimentální aparatury a použitého zařízení.



Obrázek 13: Zástavba analyzátoru, umístění gelových baterií a měniče napětí

Zástavba aparatury byla řešena tak, aby její součásti nepřesahovaly půdorysný průmět vozidla, s výjimkou zadní části vozidla. Na vozidle byly rovněž umístěny magnetické tabulky s popisky “MĚŘÍCÍ VOZIDLO”, “Monitorování výfukových emisí motorů v reálném městském provozu” a tabulka s logem Technické univerzity. Na následujícím obrázku je vidět trubička pro odběr vzorku výfukových plynů společně s termočlánekem pro měření teploty výfukových plynů.



Obrázek 14: Trubička pro odběr vzorku výfukových plynů společně s termočlánkem

Následující obrázek zachycuje snímání dat pomocí diagnostického kabelu OBDII a jeho vedení k přenosnému počítači, umístěného na sedadle spolujezdce.



Obrázek 15: Vedení kabelu OBDII a jeho propojení s počítačem

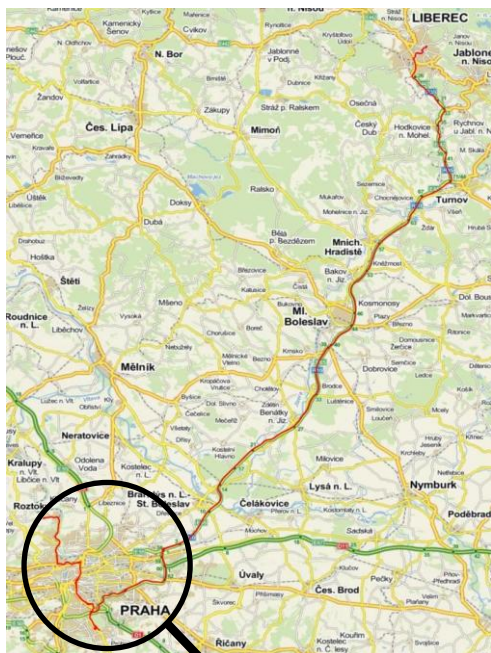
Poslední obrázek zástavby měřící aparatury ukazuje vedení vzorku výfukových plynů do analyzátoru. Zároveň je dokumentováno vypuštění vzniklého kondenzátu výfukových plynů. Fotografie byla pořízena ve Vědecko-technickém parku (Roztoky u Prahy). Hadička zelené barvy vedoucí ze zadního okénka vypouští zanalyzovaný vzorek výfukových plynů do okolního ovzduší. Na této fotografii lze dále vidět i tepelnou izolaci vedení vzorku do analyzátoru. Tato hadice byla ke karoserii vozidla připevněna pomocí stahovacích sponek a lepicí pásky.



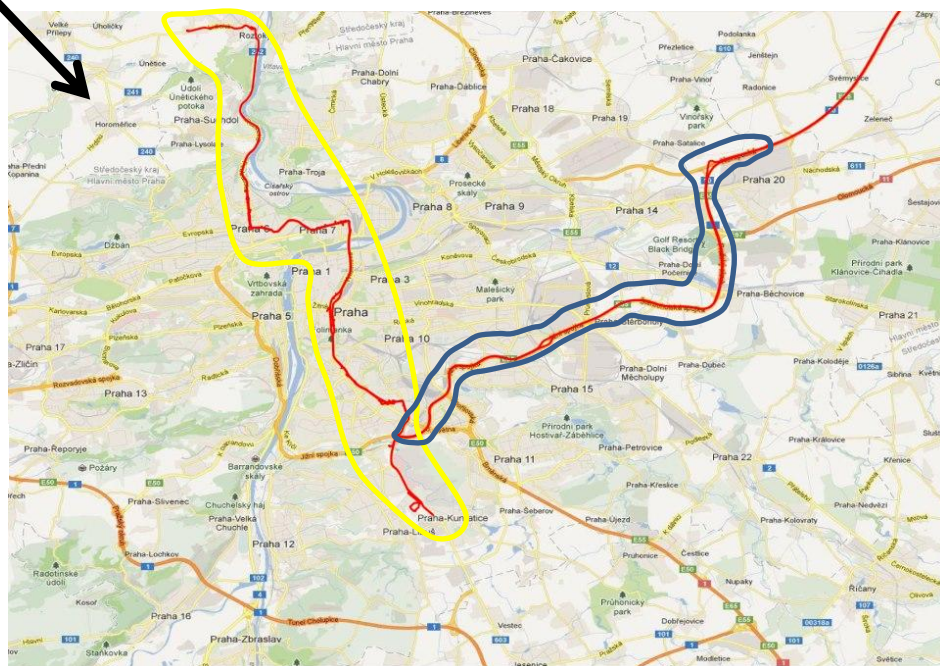
Obrázek 16: Vedení vzorku výfukových plynů do analyzátoru a vývod výfukových plynů z vozidla

6.2 Oblast měření

Pro porovnání jízdy v hustém městském provozu bylo použito 6 různých úseků v Praze a pro plynulou jízdu jeden z Pražského okruhu. Na úsecích s hustým provozem byla průměrná rychlost menší než 10 km/h a vozidlo bylo často v klidu. Pro plynulou jízdu byl použit úsek, na kterém byla průměrná rychlost 74,7 km/h a vozidlo ani jednou nezastavilo (v grafu jsou patrné výpadky signálu GPS). Při měření byla průměrná hodnota barometrického tlaku 98,5 kPa a teplota okolního vzduchu měla hodnotu 7 °C. V Praze probíhalo měření na trase z Akademie věd České republiky do Roztok u Prahy. Měřicí vůz projel tuto trasu několikrát i opačným směrem. Z těchto průjezdů byly vybrány právě ty úseky, kde vozidlo po většinu času stálo v koloně. Hlavními měřenými veličinami byly otáčky a jednotlivé složky výfukových plynů (CO, CO₂, HC, NO_x). Pro výpočet okamžitého zatížení motoru lze použít otáčky a okamžitou spotřebu paliva. Následující obrázek ukazuje mapku trasy, po které se vozidlo během měření pohybovalo.



Obrázek 17: Mapa trasy z Liberce do Prahy a zpět [26]



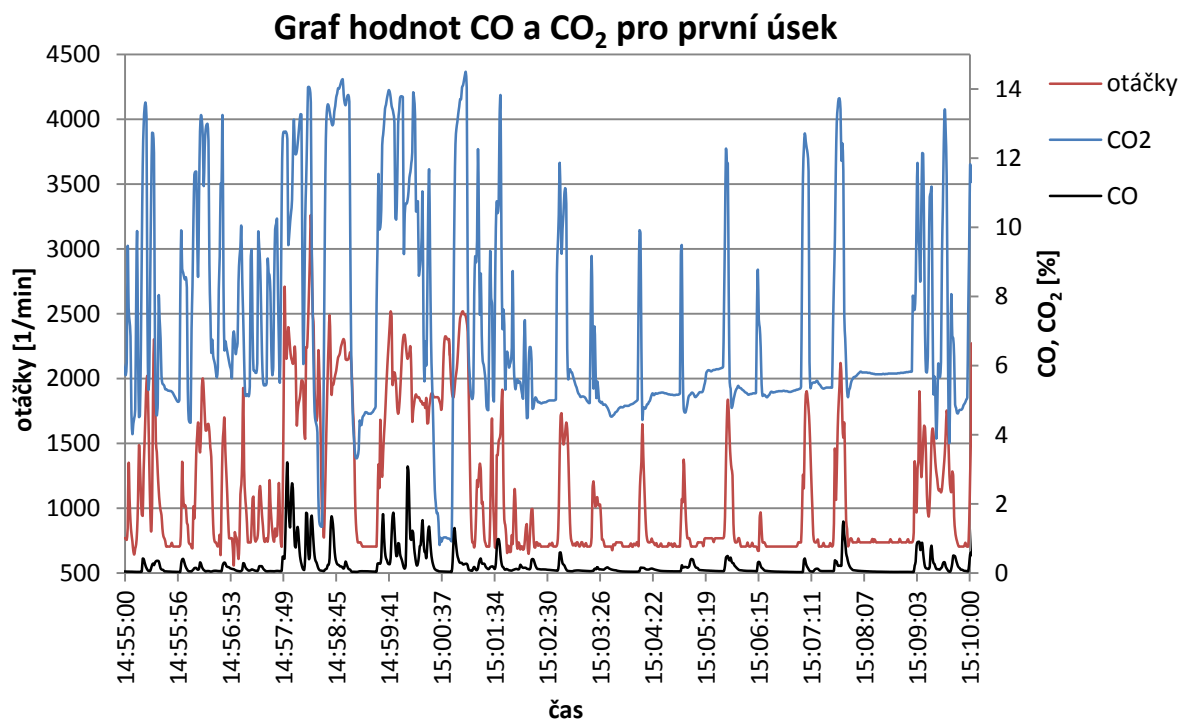
Obrázek 18: Detail Prahy (ve žlutém ohraničení jsou oblasti s hustým provozem a v modrém je plynulá jízda) [26]

6.3 Výsledky měření

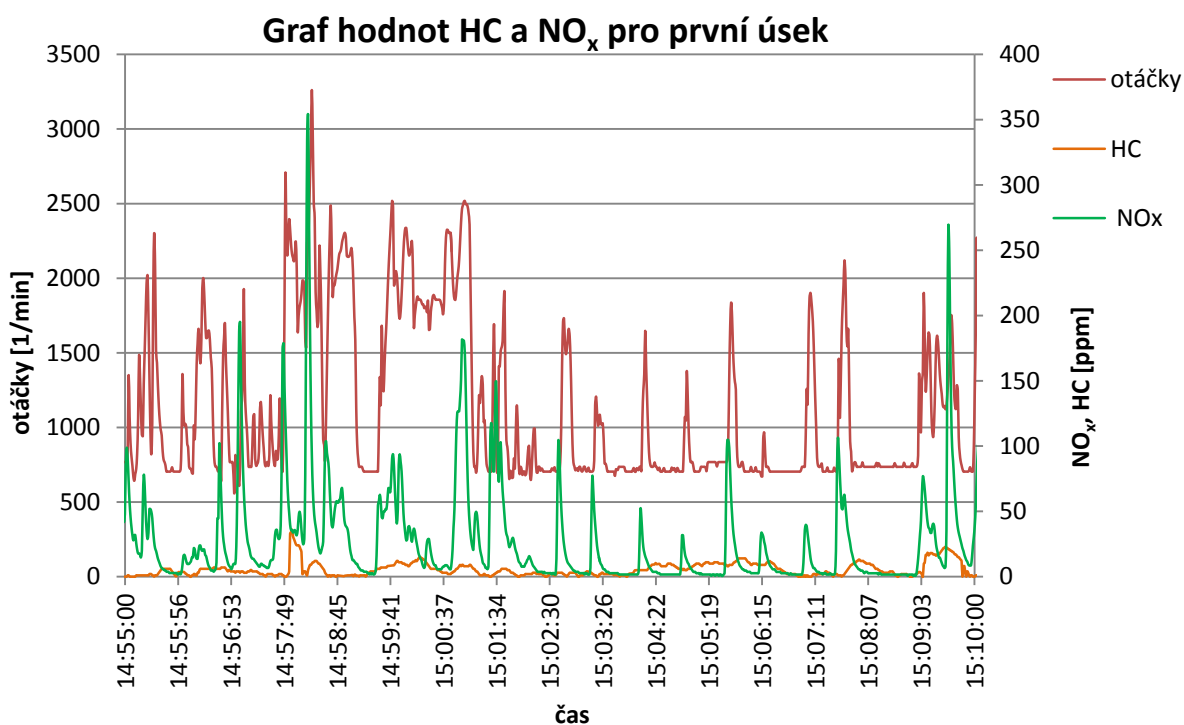
Naměřené hodnoty koncentrací jsou zaznamenány v grafech na obr. 19-32. Tyto hodnoty reprezentují surová naměřená data. Kontrolou dat bylo zjištěno, že tato data jsou ovlivněna přísáváním vzduchu do vzorku výfukových plynů, pravděpodobně vlivem netěsností ve výfukovém systému vozidla.

6.3.1 Úsek číslo 1

První úsek s hustým provozem začínal v ulici Jugoslávských partyzánů a končil v ulici Korunovační, na cestě směrem z Akademie věd na Roztoky. Vozidlo se na této trase pohybovalo v čase 14:55-15:10. V tomto úseku byly průměrné otáčky 1131 min^{-1} , průměrná rychlost byla 10,8 km/h.



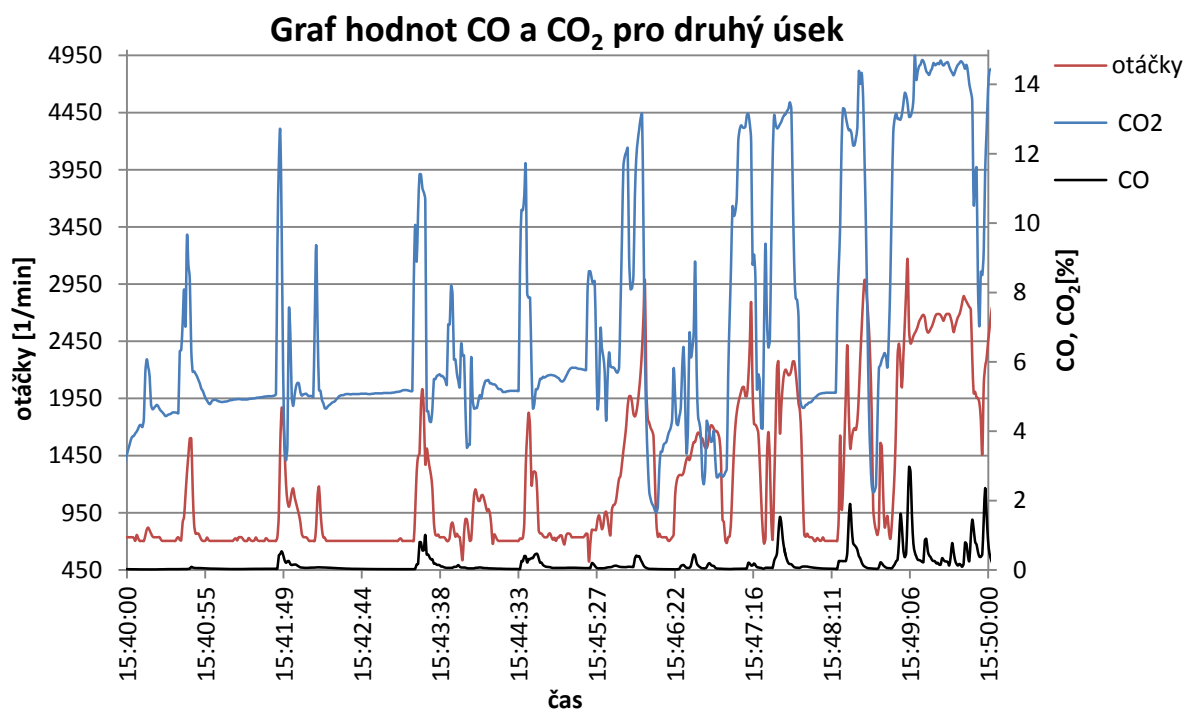
Obrázek 19: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro první úsek



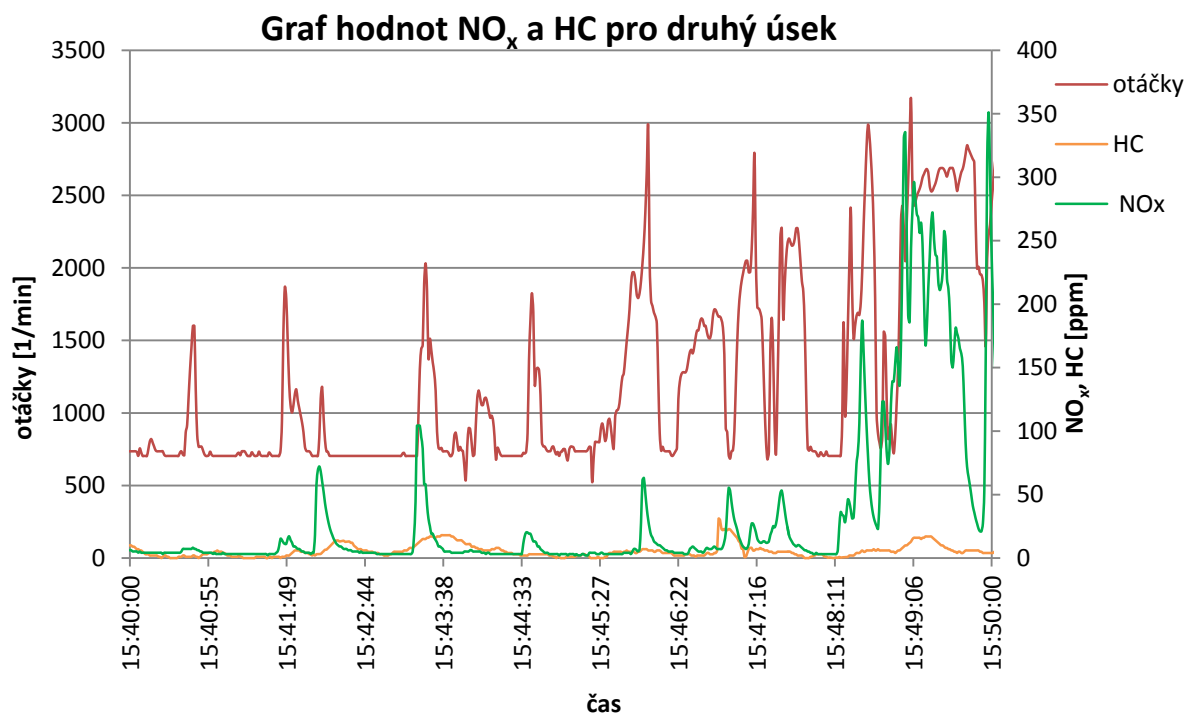
Obrázek 20: Graf naměřených hodnot NO_x a HC pro první úsek

6.3.2 Úsek číslo 2

Druhý úsek s velmi hustým provozem začínal v ulici Vídeňské a pokračoval až do ulice Michelské. Měření probíhalo od 15:40 do 15:50. Průměrné otáčky motoru byly 1213 min^{-1} a průměrná rychlost vozidla činila $11,3 \text{ km/h}$.



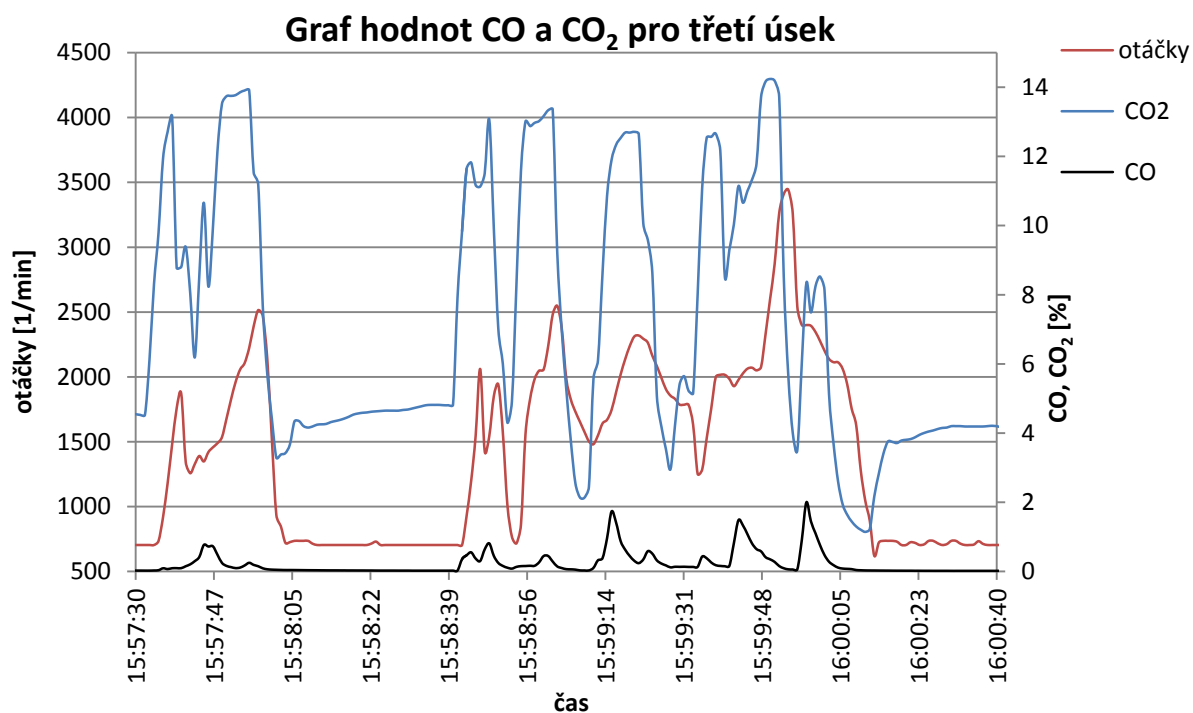
Obrázek 21: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro druhý úsek



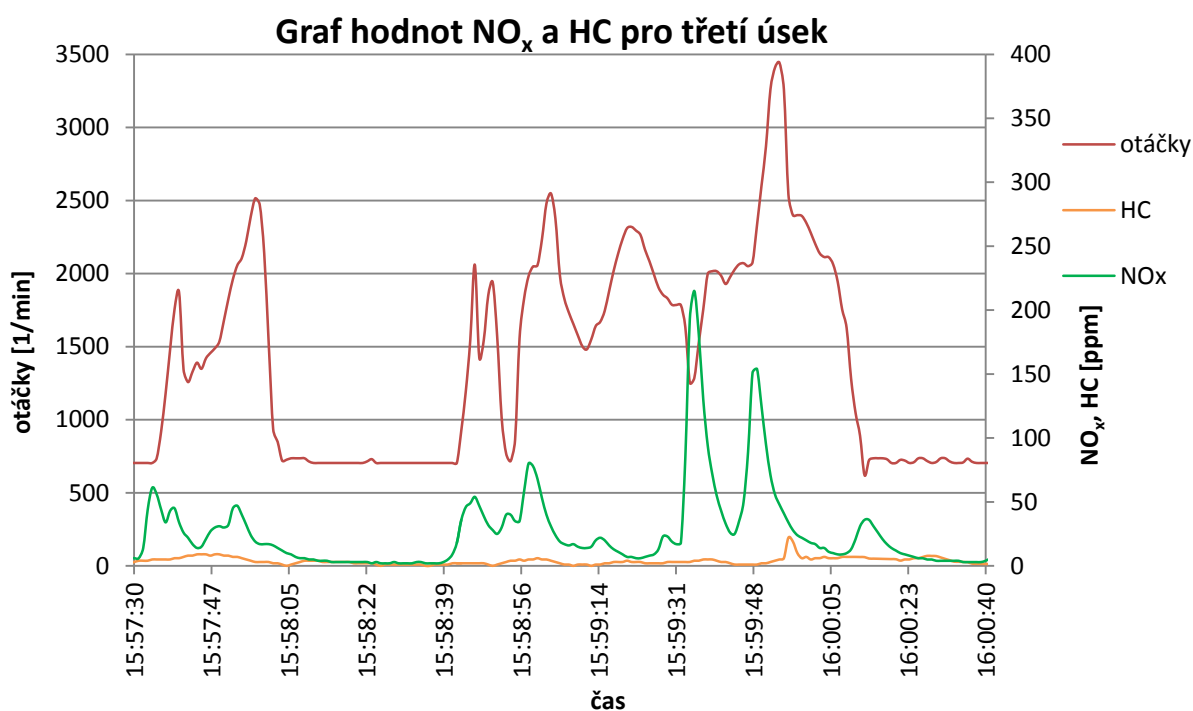
Obrázek 22: Graf naměřených hodnot NO_x a HC pro druhý úsek

6.3.3 Úsek číslo 3

Počátek dalšího měřeného úseku byl v ulici Legerově a konec byl ve Wilsonově ulici. Průjezd třetím měřeným úsekem trval déle jak 3 minuty. Vozidlo se na tomto úseku pohybovalo průměrnou rychlostí 7,2 km/h a průměrné otáčky byly 1426 min⁻¹.



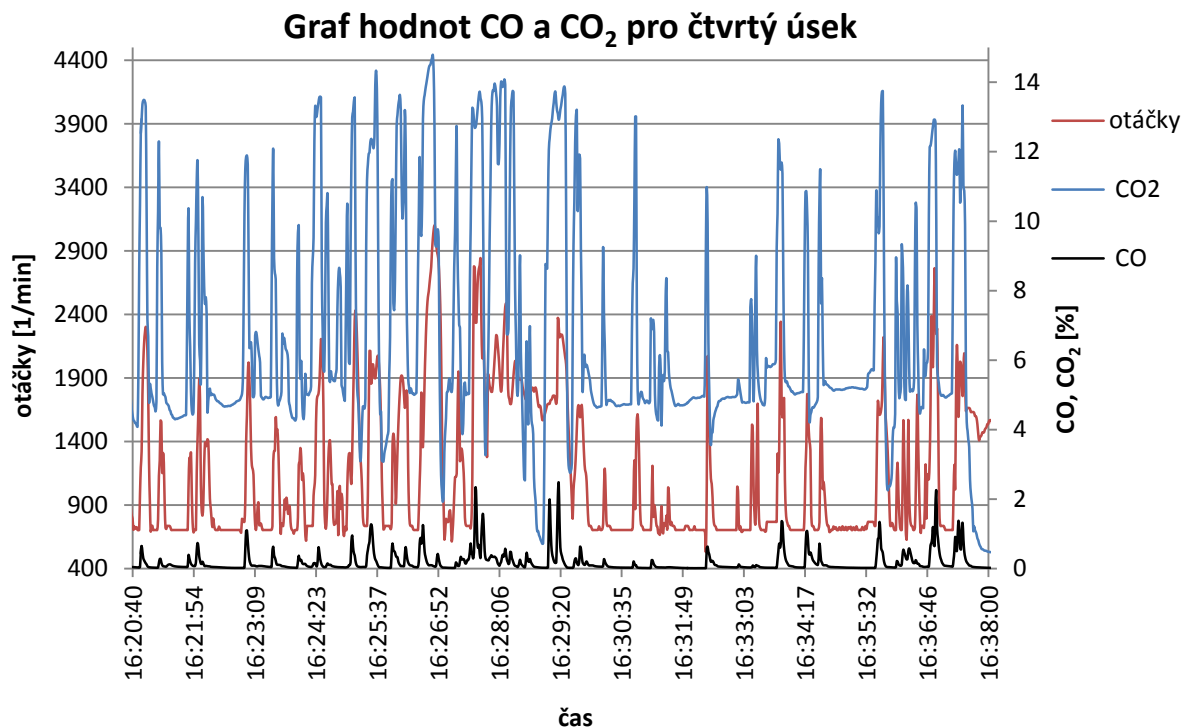
Obrázek 23: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro třetí úsek



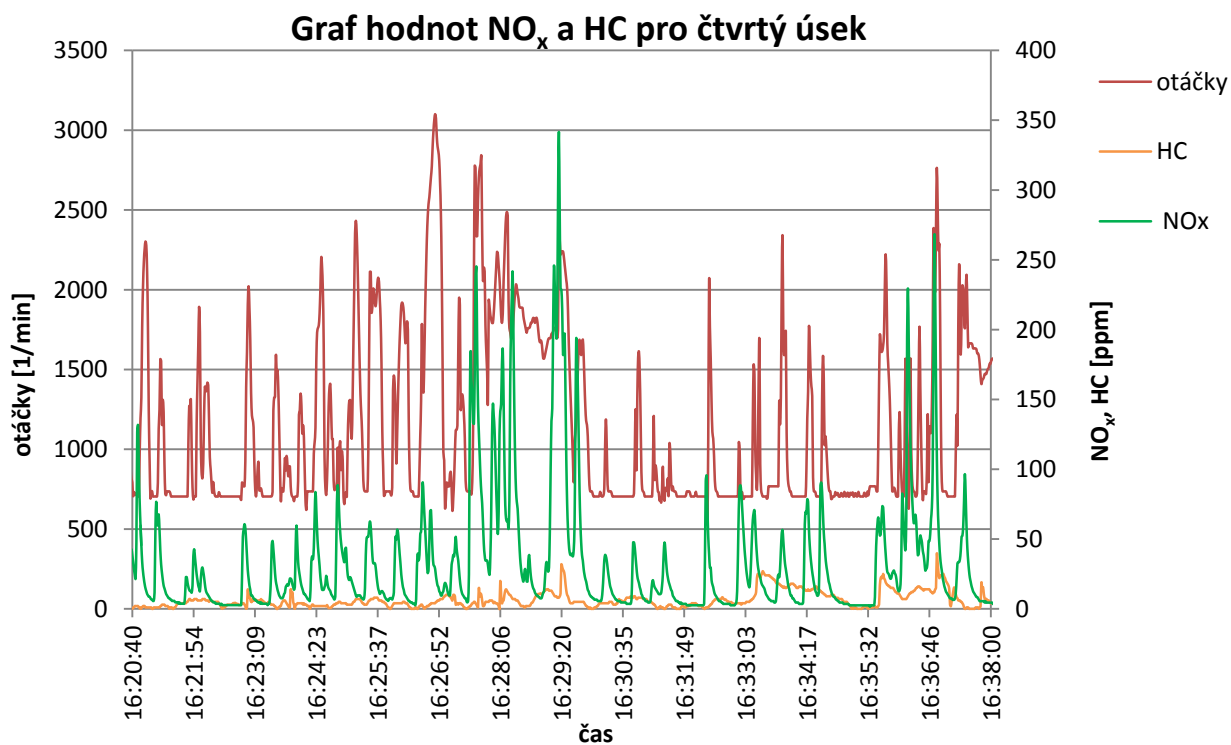
Obrázek 24: Graf naměřených hodnot NO_x a HC pro třetí úsek

6.3.4 Úsek číslo 4

Čtvrtý měřený úsek vedl z ulice Jugoslávských partyzánů až do Veletržní ulice. Průměrná rychlost byla 10,7 km/h a průměrná hodnota otáček byla 1148 min⁻¹.



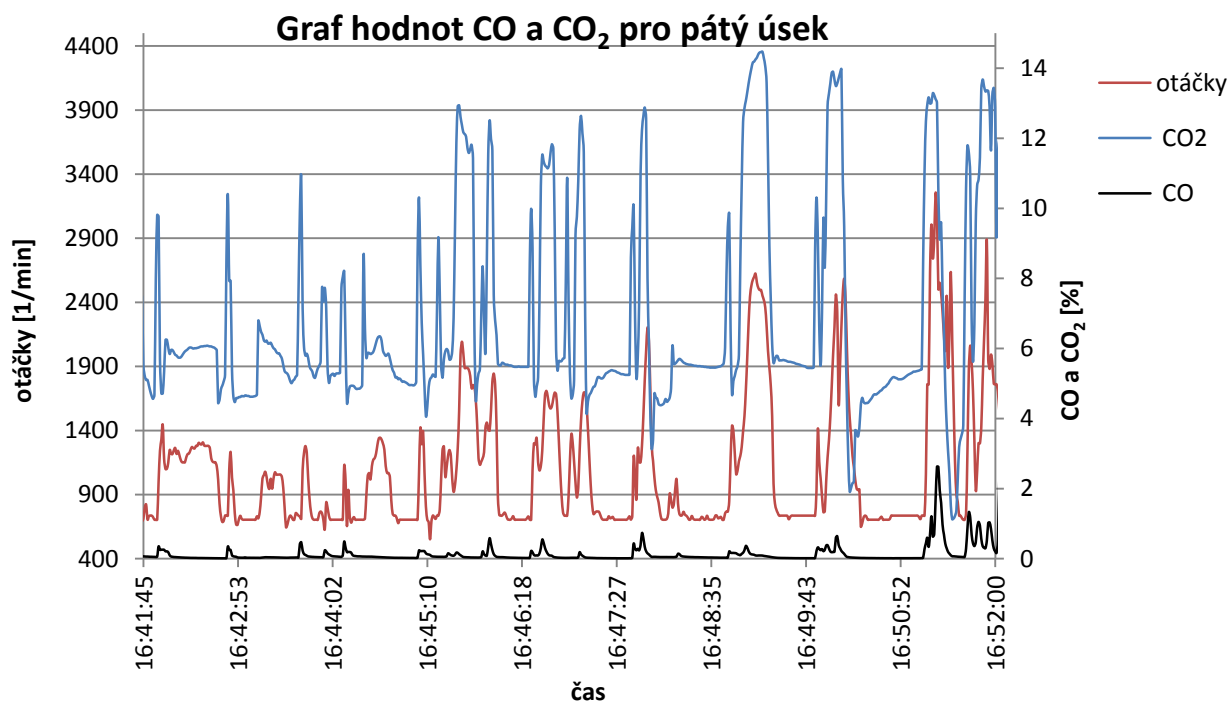
Obrázek 25: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro čtvrtý úsek



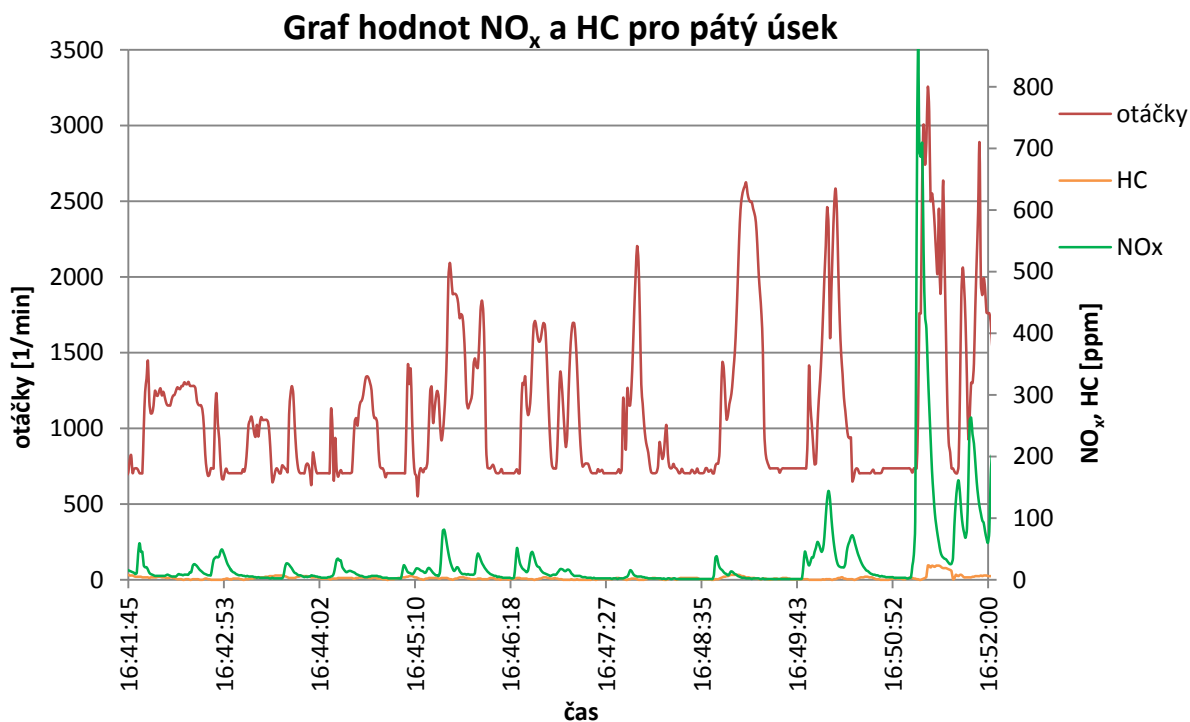
Obrázek 26: Graf naměřených hodnot NO_x a HC pro čtvrtý úsek

6.3.5 Úsek číslo 5

Pátý měřený úsek začínal ve Wilsonově ulici a pokračoval přes Legerovu do Sokolské. V tomto úseku se vozidlo pohybovalo průměrnou rychlostí 7,1 km/h a průměrné otáčky z této části měření byly 1095 min⁻¹.



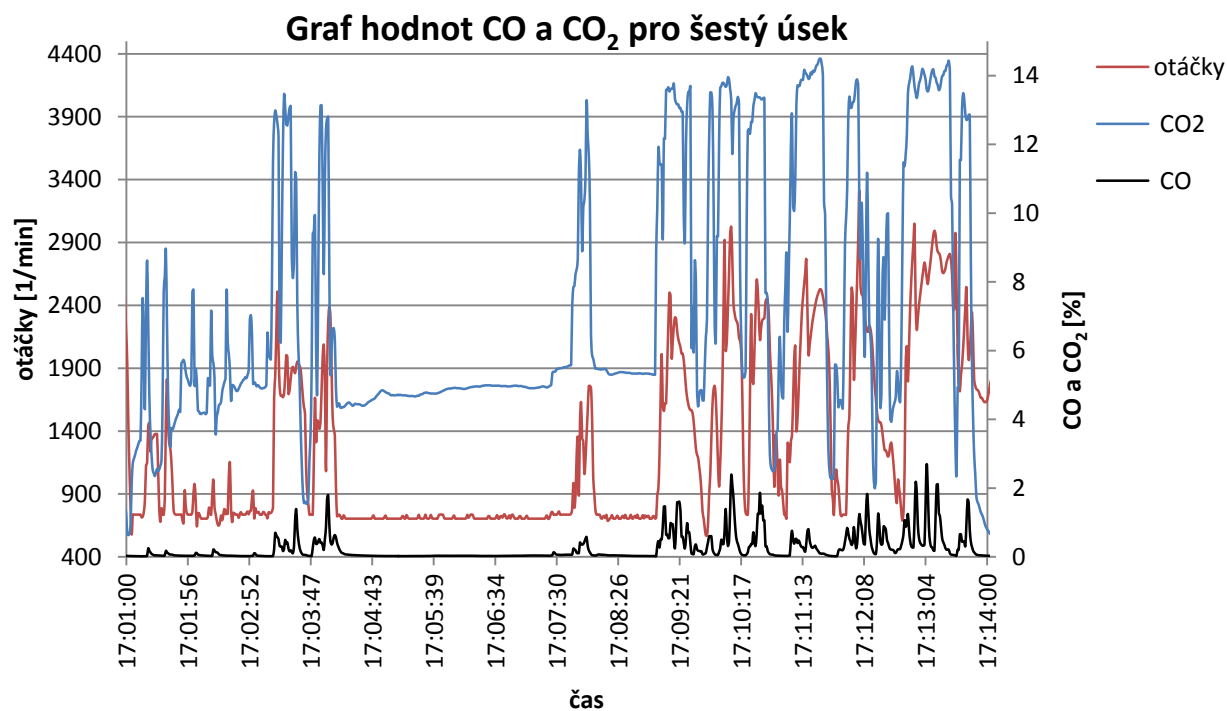
Obrázek 27: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro pátý úsek



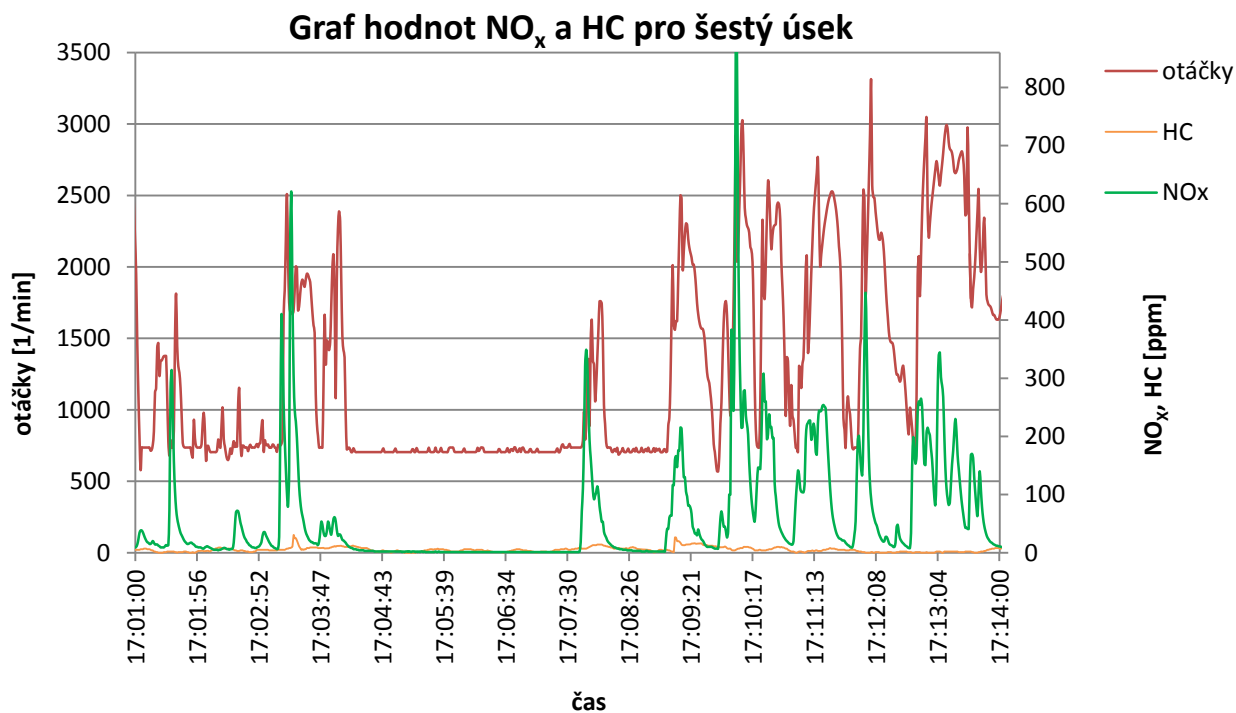
Obrázek 28: Graf naměřených hodnot NO_x a HC pro pátý úsek

6.3.6 Úsek číslo 6

Poslední úsek v hustém provozu začínal v Michelské ulici a končil ve Vídeňské. Vozidlo jelo průměrnou rychlostí 14,7 km/h s průměrnými otáčkami 1267 min⁻¹.



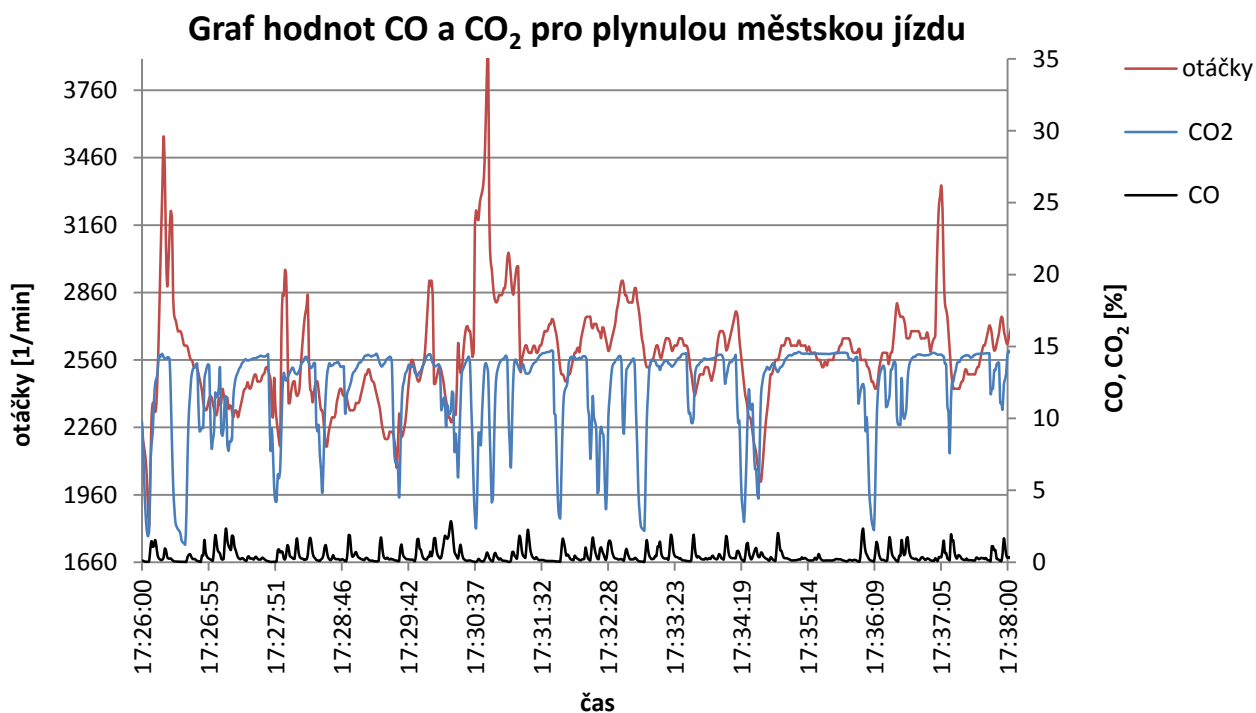
Obrázek 29: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro šestý úsek



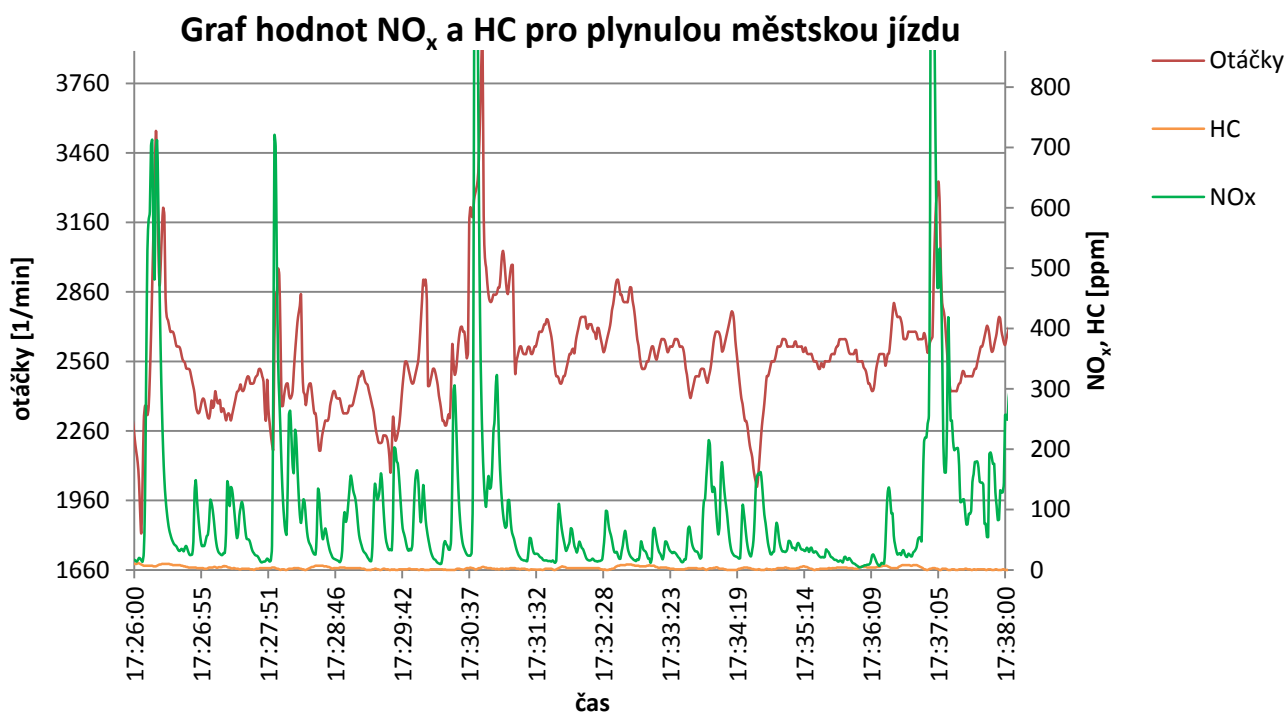
Obrázek 30: Graf naměřených hodnot NO_x HC pro šestý úsek

6.3.7 Plynulá jízda

Plynulá jízda byla měřena z Jižní spojky Pražského okruhu na Novopackou ulici. Vozidlo se na této trase pohybovalo průměrnou rychlostí 74,7 km/h a průměrné otáčky měly hodnotu 2581 min⁻¹.



Obrázek 31: Graf naměřených hodnot CO a CO₂ pro plynulou městskou jízdu



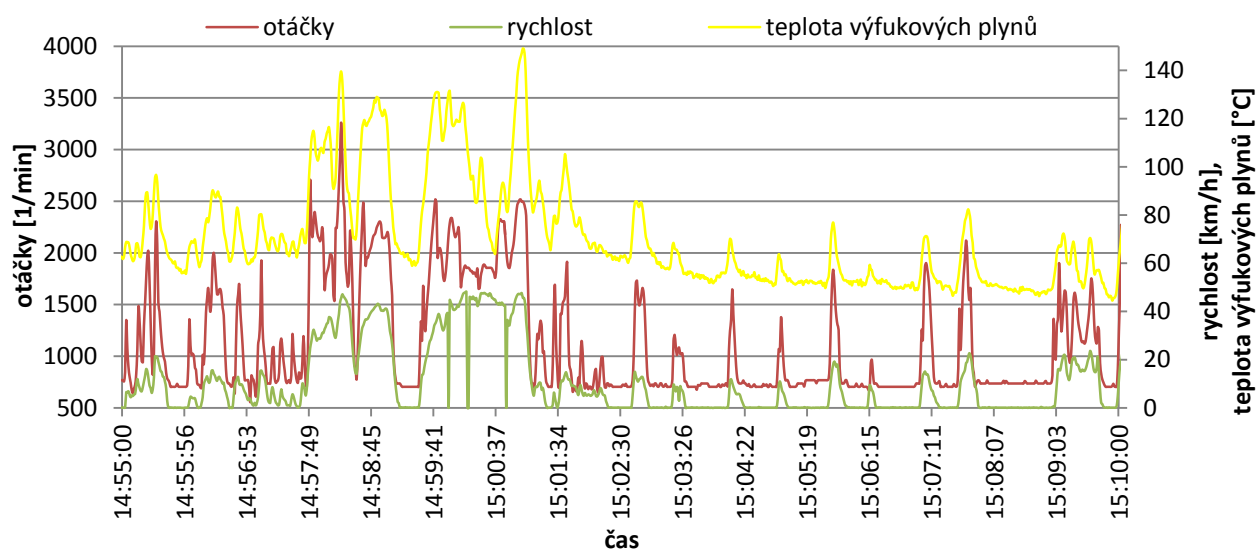
Obrázek 32: Graf naměřených hodnot NO_x a HC pro plynulou městskou jízdu

6.4 Teplota výfukových plynů pro jednotlivé úseky

Pomocí termočlánku byla měřena teplota výfukových plynů. Následující grafy zachycují tyto hodnoty pro jednotlivé úseky.

6.4.1 Teplota výfukových plynů pro první úsek

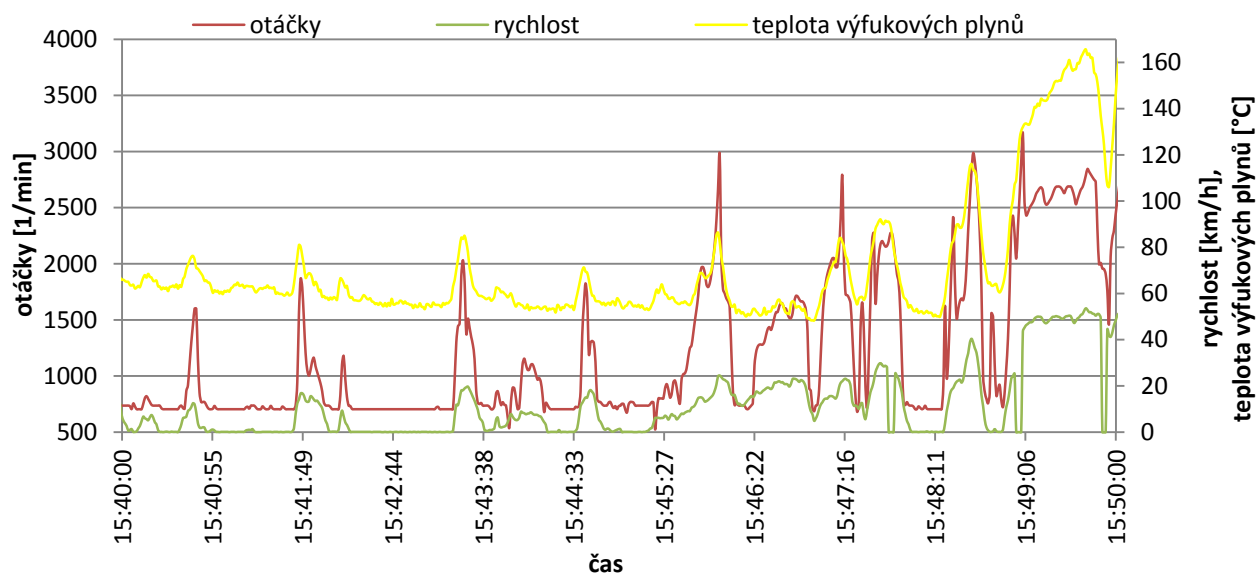
Graf teploty výfukových plynů pro první úsek



Obrázek 33: Graf teploty výfukových plynů pro první úsek

6.4.2 Teplota výfukových plynů pro druhý úsek

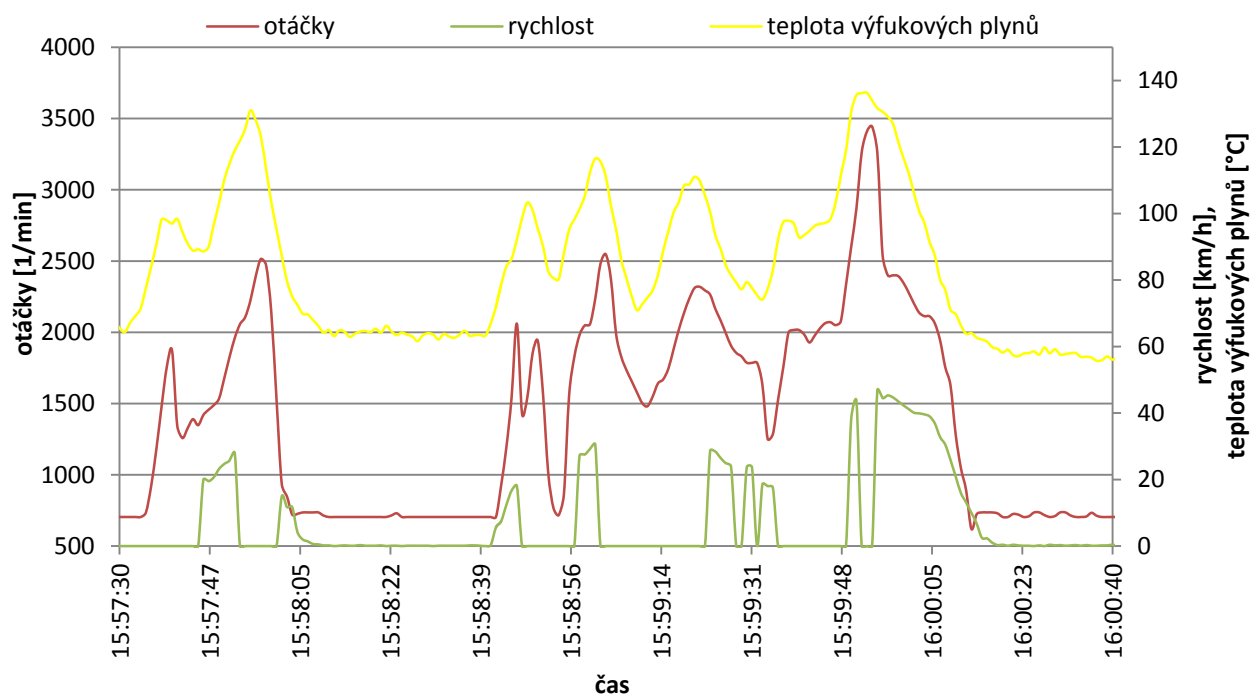
Graf teploty výfukových plynů pro druhý úsek



Obrázek 34: Graf teploty výfukových plynů pro druhý úsek

6.4.3 Teplota výfukových plynů pro třetí úsek

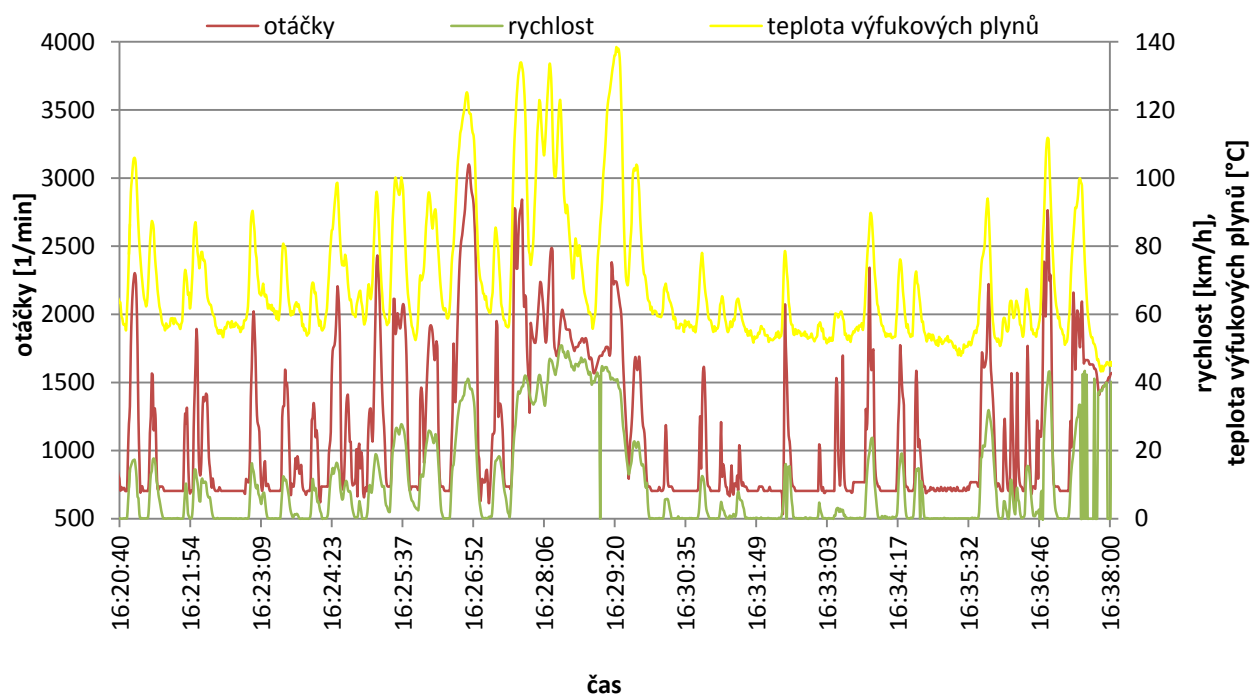
Graf teploty výfukových plynů pro třetí úsek



Obrázek 35: Graf teploty výfukových plynů pro třetí úsek

6.4.4 Teplota výfukových plynů pro čtvrtý úsek

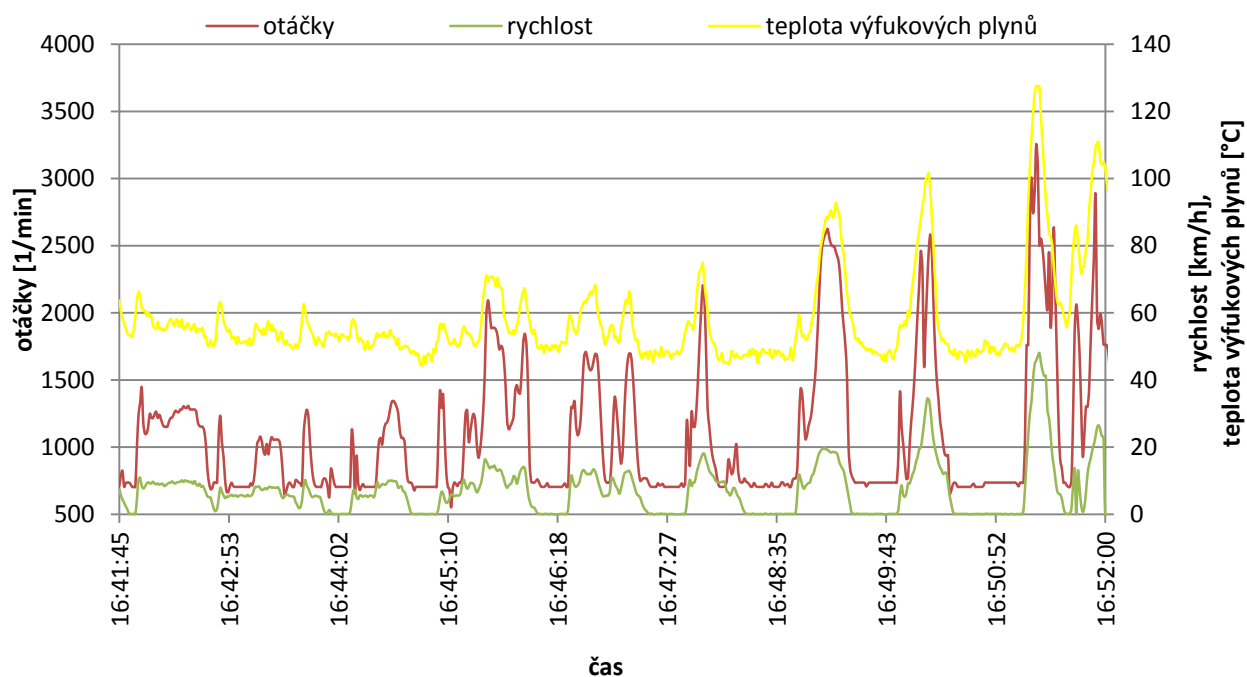
Graf teploty výfukových plynů pro čtvrtý úsek



Obrázek 36: Graf teploty výfukových plynů pro čtvrtý úsek

6.4.5 Teplota výfukových plynů pro pátý úsek

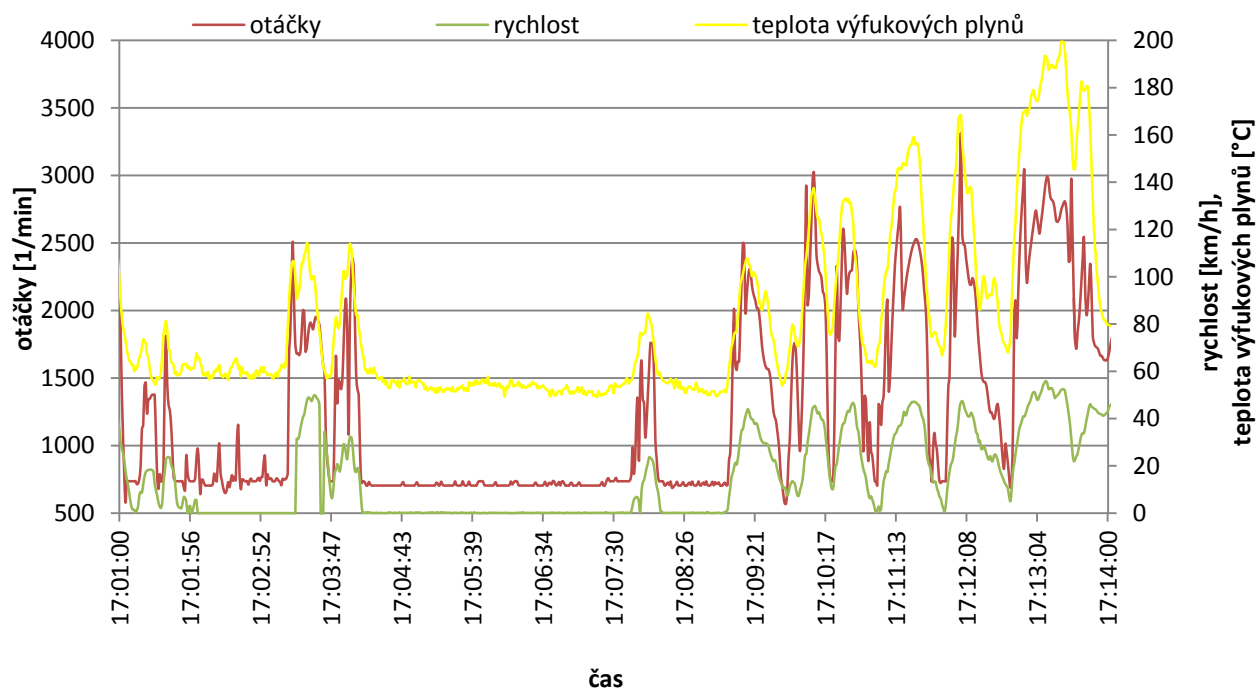
Graf teploty výfukových plynů pro pátý úsek



Obrázek 37: Graf teploty výfukových plynů pro pátý úsek

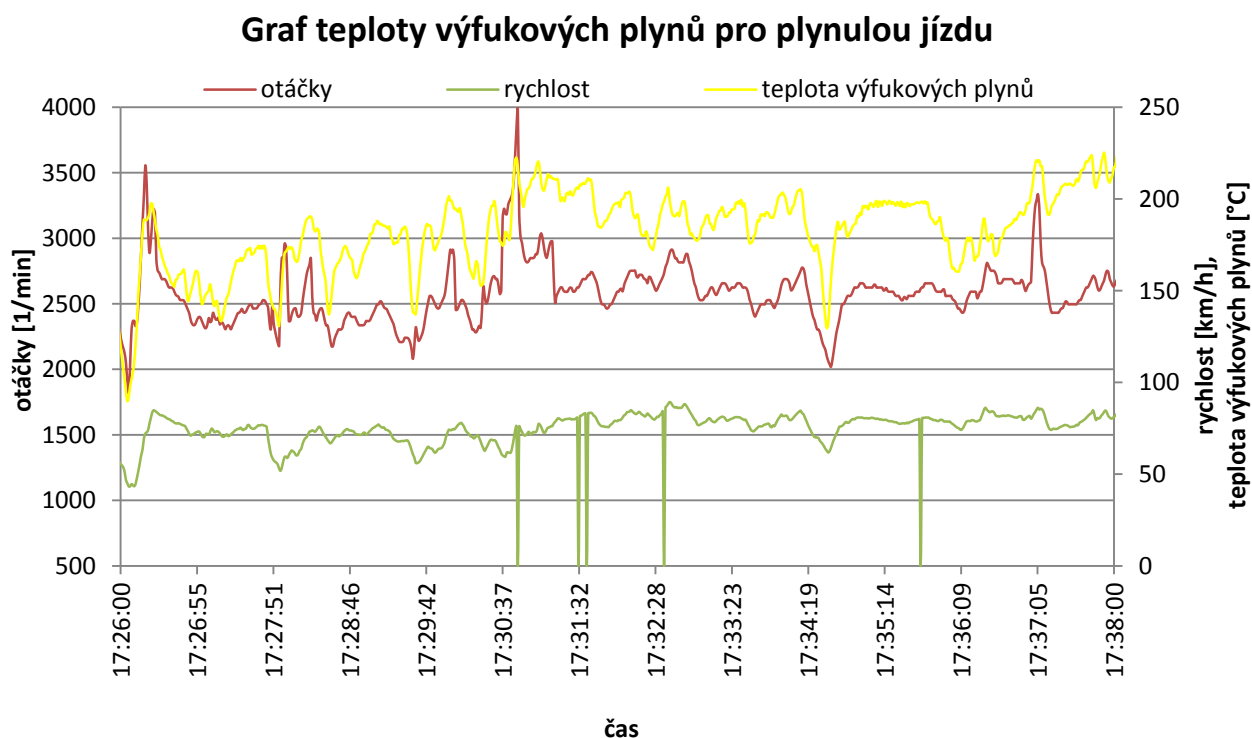
6.4.6 Teplota výfukových plynů pro šestý úsek

Graf teploty výfukových plynů pro šestý úsek



Obrázek 38: Graf teploty výfukových plynů pro šestý úsek

6.4.7 Teplota výfukových plynů pro plynulou jízdu



Obrázek 39: Graf teploty výfukových plynů pro plynulou jízdu

Při pohledu na tyto grafy je zřejmé, že při vyšších otáčkách jsou i vyšší teploty výfukových plynů. Pokud je motor automobilu ve volnoběžných otáčkách, dochází k tomu, že klesá teplota těchto plynů až k hodnotě kolem 50 °C. Teplota výfukových plynů byla měřena na konci výfukového potrubí, a je proto nižší, než je teplota výfukových plynů v oblasti třícestného katalyzátoru. Proto mají tyto teploty spíše orientační význam.

6.5 Vypočtené hodnoty

Naměřené koncentrace výfukových plynů byly korigovány pro netěsnosti výfukového potrubí. Tato korekce byla provedena řešitelským týmem projektu MEDETOX a není předmětem bakalářské práce. Průtok nasávaného vzduchu byl vypočten z otáček, zdvihového objemu motoru, poměru absolutního tlaku za škrtkovou klapkou a tlaku barometrického a dále z dopravní účinnosti [27]. Při výpočtu bylo uvažováno, že tok nasávaného vzduchu je přibližně stejný jako tok výfukových plynů. Hmotnostní tok CO byl počítán jako tok výfukových plynů v daném okamžiku vynásobený koncentrací CO v daném okamžiku. Obdobně byl vypočten i hmotnostní tok CO₂.

Aktuální spotřeba paliva byla vypočtena pomocí vzorce:

$$(\dot{m}_{CO} \cdot m_{C/CO} + \dot{m}_{CO_2} \cdot m_{C/CO_2}) / m_{C/benzín} \text{ [g.s}^{-1}\text{]}$$

Výpočet pokračoval součtem všech hodnot aktuální spotřeby (19944 g), jež byl podělen hustotou paliva ($\rho_{\text{benzinu}} = 0,74 \text{ g.cm}^{-3}$). Tímto podílem dostaneme hodnotu $26\,951 \text{ cm}^3$. Objem spotřebovaného paliva převedeme na dm^3 a následně dělíme celkovou ujetou dráhou (308,6 km). Pokud chceme vypočíst spotřebu paliva v l/100km, převedeme ujetou dráhu na stovky km. Následně ve výpočtu dělíme $26,9/3,1 \text{ [l/100km]}$. Vypočítaná spotřeba má hodnotu 8,7 l/100km. Tento výpočet se téměř shoduje s údajem z palubního počítače vozidla, jež ukazoval spotřebu přibližně 8,5 l/100km. Obsah uhlíku v jednom litru benzínu byl uvažován 86% [28].

		Celkově vyprodukované emise [g]				Ujetá vzdálenost [km]	Emise na km [g.km ⁻¹]				Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	Průměrné otáčky [min ⁻¹]
typ	úsek	CO	CO ₂	NO _x	HC		CO	CO ₂	NO _x	HC		
Hustý provoz	1.	22,5	1005	0,48	0,46	2,72	8,3	372	0,18	0,17	10,9	1131
	2.	12,8	711	0,50	0,17	1,89	6,8	376	0,27	0,09	11,3	1214
	3.	4,5	229	0,10	0,05	0,38	11,8	600	0,26	0,14	7,2	1426
	4.	24,1	1156	0,69	0,43	3,10	7,8	373	0,22	0,14	10,7	1149
	5.	10,8	619	0,41	0,16	1,21	8,9	510	0,34	0,13	7,1	1095
	6.	27,7	1121	1,25	0,47	3,20	8,7	351	0,39	0,15	14,8	1267
Plynulá jízda		47,5	2400	2,31	0,53	14,97	3,18	161	0,15	0,03	74,7	2581

Tabulka 4: Shrnutí naměřených a vypočtených hodnot

V Tabulce 4 jsou vypočtené hodnoty jednotlivých složek výfukových plynů v g.km⁻¹. Pro porovnání byly použity hodnoty CO₂ udávané výrobcem vozidla (viz. tabulka 2). Dále jsou zde znázorněny průměrné hodnoty otáček a rychlostí v jednotlivých úsecích.

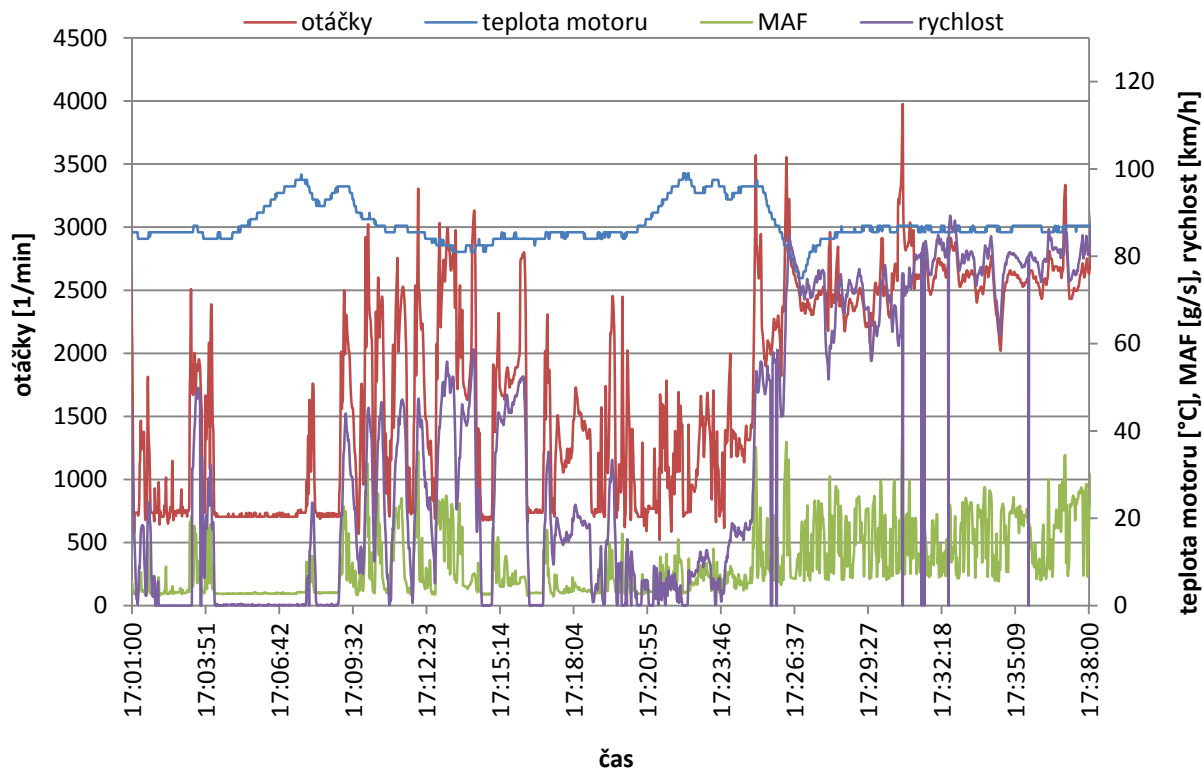
typ	úsek	Spotřeba [l/100km]
Hustý provoz	1.	16,5
	2.	16,6
	3.	26,5
	4.	16,5
	5.	22,4
	6.	15,6
Plynulá jízda		7,1

Tabulka 5: Vypočtená spotřeba paliva v daných úsecích

V Tabulce 5 byla vypočtena spotřeba paliva [l/100km] pro jednotlivé úseky. Z této tabulky lze vyčíst, že plynulá jízda je úspornější až třikrát, oproti jízdě v dopravní

zácpě. Na následujícím grafu jsou vyneseny hodnoty otáček, teplota chladicí kapaliny, množství nasávaného vzduchu a rychlost vozidla pro poslední dva úseky.

Otáčky , množství nasávaného vzduchu , teplota motoru a rychlost



Obrázek 40: Graf závislosti teploty motoru a množství nasávaného vzduchu na rychlosti a otáčkách pro poslední dva úseky

Na tomto grafu je vidět, že teplota motoru (teplota chladicí kapaliny) závisí na rychlosti vozidla. Pokud automobil stál v koloně vozidel a motor běžel na volnoběžné otáčky, teplota chladicí kapaliny vzrostla až k 99 °C. Pokud se vozidlo rozjelo, chladič byl ochlazován obtékajícím vzduchem a jeho teplota postupně klesala. Nejnižší teplota byla 74,5 °C.

Závěr

Bakalářská práce se zabývala problematikou jízdy vozidla v hustém provozu. V úvodní části je charakterizován zhuštěný provoz a vysvětlen volnoběžný režim spalovacího motoru. V další části je pozornost věnována především škodlivým emisím vznikajícím spalováním motorových paliv. V prostřední části je stěžejním tématem právě redukce těchto emisí. Nemalá část je věnována vlivu spalin, vznikajících na pozemních komunikacích s velmi hustým provozem, na lidský organismus. Jedna z kapitol je věnována i vlivu dlouhého volnoběhu na spalovací motor. V poslední kapitole je popsána metoda provedení měření výfukových emisí a oblast měření. Následně byly výsledky zpracovány a zakresleny do grafů.

Pro měření obou typů provozu (hustý a plynulý) byly použity úseky o přibližně stejné celkové délce. Z naměřených dat a následného porovnání vyplývá, že měrné emise všech měřených složek výfukových plynů jsou na kilometr menší, pokud vozidlo jede plynule. Tyto hodnoty jsou výsledkem toho, že teplota výfukových plynů klesá, pokud je motor ve volnoběžných otáčkách. Následkem toho dochází k ochlazení katalyzátoru, což vede ke snížení jeho účinnosti. Zároveň často dochází k obohacení palivové směsi, čímž dojde k nedokonalému spálení, a tím se také zvyšuje množství produkovaných emisí. Naměřené hodnoty pro plynulou jízdu ukazují, že emise jednotlivých složek výfukových plynů nereagují tak citlivě na změnu otáček a nekopírují jejich průběh tak těsně. Pro porovnání byla vypočtena i průměrná spotřeba paliva na 100 km, která ukazuje, že je v některých úsecích s hustým provozem až trojnásobná oproti plynulé jízdě. To je způsobeno především častými rozjezdy a velmi pomalou jízdou. Při porovnání produkovaných emisí CO_2 , které udává výrobce měřeného automobilu, s naměřenými hodnotami, je patrné, že naměřené hodnoty CO_2 při plynulé jízdě odpovídají horní hranici rozsahu udávaného výrobcem.

Teploty výfukových plynů na výstupu z výfukového potrubí pro toto měření ukazují, že pokud vozidlo stojí v dopravní zácpě, jejich hodnota klesá až k hranici 50°C .

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] VOJTÍŠEK, Michal. *Nanočástice emitované spalovacími motory v městském provozu*. Ochrana ovzduší, 2012,5, s 53-62
- [2] Putting a stop to car idling (dejme stop volnoběhu vozidel). BRIGHT HUB. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.brighthub.com/environment/science-environmental/articles/64074.aspx>
- [3] Start stop systém pro Škodu Rapid. ŠKODA AUTO. *Škoda auto* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: [http://www.skoda-auto.cz/models/HotspotDetail?HotspotName=E20%20-%20Start-Stop%20syst%C3%A9m%20\[Rapid\]&WebID=ad5ad5f4-1c5f-4456-8410-75709c983f5f&Page=technology](http://www.skoda-auto.cz/models/HotspotDetail?HotspotName=E20%20-%20Start-Stop%20syst%C3%A9m%20[Rapid]&WebID=ad5ad5f4-1c5f-4456-8410-75709c983f5f&Page=technology)
- [4] Start/Stop. *Novinky.cz* [online]. [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: <http://tema.novinky.cz/startstop>
- [5] Světová encyklopedie. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Start-stop_system
- [6] Regulace předstihu. RACING PROGRESS. [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.progres-racing.cz/clanky/motor/regulace-predstihu/>
- [7] SKŘIVÁNEK, A., A. POLCAR a P. SEDLÁK. *Reduction of NOx emissions using the selective catalytic reduction system*. Univerzita Brno, 2012, projekt DOPSIT s. 1137.
- [8] Emission impacts resulting from vehicle idling. NATURAL RESOURCES CANADA (PŘÍRODNÍ ZDROJE KANADY). [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: oee.nrcan.gc.ca/transportation/idling/10617
- [9] PANDIAN, Suresh. *Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections*, Transportation research, 2009, s. 182-190
- [10] Lowering emissions and particulates (snižování množství emisí a částic). LEAP. *Impact of idling* [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://www.makealeap.org/idling_myth
- [11] Katalyzátor. AUTOLEXICON. [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>
- [12] EPA (ÚŘAD PRO OCHRANU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ USA). *Idling vehicle emissions* [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/oms/consumer/f98014.pdf>
- [13] DARMOVZAL, Radek. *Semestrální práce: Motory a jejich vliv na životní prostředí*. s. 5-10. Univerzita Pardubice, dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/ks_pce/darmovzal.pdf

- [14] BEROUN, Stanislav. *Vozidlové motory*. s. 35, 100, Technická univerzita v Liberci
- [15] Lambda sonda. AUTOLEXICON. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/lambda-sonda/>
- [16] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory*. Grada Publishing a.s., Praha, 2011, s. 126-127.
- [17] EGR. WIKIPEDIA (OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIE). [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/EGR>
- [18] ŠIBOR, Jiří. Vliv dopravy na kvalitu ovzduší a lidské zdraví. [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://svp.muni.cz/ukazat.php?docId=527>
- [19] Statistická ročenka ČHMI. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. [online]. [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/kap11.html>
- [20] Questins about idling (otázky o volnoběhu). ÚŘAD ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NOVÉHO MEXIKA. [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.nmenv.state.nm.us/aqb/GHG/documents/IdlingFAQ.pdf>
- [21] Motory 1.2 HTP. ŠKODA AUTO. *Carmotor* [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: http://www.carmotor.cz/includes/skoda-auto/MOTORY_1_2_CZ.pdf
- [22] ŠKODA FABIA COMBI. *Auto.cz* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: www.auto.cz/skoda-fabia-combi-classic-1-2-htp-47-kw-sen-ceskeho-chalupare-05-2003-310
- [23] Motor 1.2 HTP. *HTP klub ČR* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://htpklub.webnode.cz/motor-htp/>
- [24] Převodové poměry převodovek dodávaným k motorům HTP: <http://imageshack.us/f/560/02thtp.png/>
- [25] VOJTÍŠEK, Michal, Aleš DITTRICH, Martin MAZAČ a Martin DUFEK. *ON-ROAD PARTICULATE MATTER EMISSIONS FROM HOMOGENEOUS CHARGE SPARK IGNITION ENGINES*. Žilina, 2011, s. 1-3
- [26] Internetové mapy GOOGLE. [online]. [cit. 2013-05-6]. Dostupné z: <http://maps.google.cz>
- [27] Vojtíšek, M., Cobb, J.T.: "On-road light-duty vehicle emission measurements using a novel inexpensive on-board portable system." Sborník konference 8th CRC On-road vehicle emissions workshop, San Diego, CA, April 20-22, 1998.
- [28] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*, 2004, s. 212.